



EESTI MAAÜLIKOOL  
Tehnikakolledž

**Sten-Ingmar Jugomäe**

**VIRTUAALSE VÕIDUSÕIDU SIMULAATORI PEDAALIDE  
LAHENDUS**

**VIRTUAL RACING SIMULATOR PEDALS SOLUTION**

Rakenduskõrghariduse lõputöö  
Tehnotroonika õppekava

Juhendaja: lektor Marten Madissoo, *PhD*

Tartu 2017

Eesti Maaülikool		Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		lühikokkuvõte	
Autor: Sten-Ingmar Jugomäe		Õppekava: Tehnotroonika	
Pealkiri: Virtuaalse võidusõidu simulaatori pedaalide lahendus			
Lehekülgi: 66	Jooniseid: 41	Tabeleid: 6	Lisasid: 18
Osakond: Tehnikakolledž			
Uurimisvaldkond : T124 Automatiseerimine, robotika, control engineering			
juhendaja(d): Marten Madissoo			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2017			
Antud lõputöö eesmärgiks oli projekteerida arvuti võidusõidu simulatsiooni pedaalide prototüüp, mis suudaks konkureerida omaduselt , kui ka hinnalt turul olevate toodetega.			
Töös antakse ülevaade hetkel turul olevate toodete kohta, simulatsiooni olemusest, kui ka selle ajaloost ning milleks on toote arendamisel vajalik tootearenduse mõistet silmas pidada			
Nendest lähtuvalt projekteeritakse gaasi-, piduri- ja siduripedaal arvuti võidusõidu simulatsiooni juhtimiseks. Töö lõpuosas antakse ülevaade antud projekti maksumusest.			
Märksõnad: simulatsioon, simuleeritud võidusõit, pedaalid, simulaator			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Professional higher education thesis	
Author: Sten-Ingmar Jugomäe		Speciality: Technotronics	
Title: Virtual racing simulator pedals solution			
Pages: 66	Figures: 41	Tables: 6	Appendixes: 18
Department: Techincal College Field of research : T124 Automation, robotics, control engineering Supervisors: Marten Madissoo Place and date: Tartu 2017			
The purpose of the thesis is to design a pedal system prototype for computer racing simulators which would be able to compete in terms of price, as well as properties to competitors  Thesis give overview of products what's sale at the moment, essence of simulation and it's history. Also explains why product development is important  Considering these aspects author design gas-, brake, - clutch pedal to control simulated computer racing. End of the thesis is described present project cost.			
Keywords: simulation, simulated racing, pedals, simulator			

## SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	5
1. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED .....	6
2. SIMULATSIOON .....	7
2.1. Simuleeritud võidusõit ehk <i>Sim racing</i> .....	7
2.2. Sõidu simulaatorite ajalug .....	8
2.3. Võidusõidu simulaatorite areng .....	9
3. HETKEL TURUL OLEVAD TOOTED .....	17
4. TOOTEARENDEUS .....	28
5. PROJEKTEERIMINE .....	29
5.1. Gaasipedaal. ....	31
5.2. Piduripedaal .....	33
5.3. Siduripedaal .....	35
5.4 Komponentide valik .....	36
6. PEDAALISÜSTEEMI JUHTIMINE .....	40
7. MAKSUMUS .....	43
KOKKUVÕTE .....	44
KASUTATUD KIRJANDUS .....	45
SUMMARY .....	47
LISAD .....	48
Lisa A .....	48
LIHTLITSENTS .....	66

## SISSEJUHATUS

Antud lõputöö eesmärgiks on koostada pedaalisüsteem arvutile võidusõidu simulaatori juhtimiseks.

Lõputöö teema valik sai tehtud autori enda huvist antud teema vastu. Teema on oluline seetõttu, et, et kui mõnda aega tagasi oli arvuti simulatsioon inimestele kättesaamatu, keeruline ning oli mõeldud vaid spetsiifiliste ülesannete täitmiseks. Tänapäeval, tänu tehnika väga kiirele arengule, on arvuti simulatsiooni kasutamis võimalus kättesaadav peaaegu igapähele. Kasutamise võimalused peaaegu piiramatud ning neid on tunduvalt lihtsam käsitleda, kui vanasti. Sellega seoses tuli ka idee luua arvutile mõistliku hinnaga pedaalisüsteem, mis võimaldaks simuleerida reaalselt autosõitu ning peamiselt just võidusõidu auto oma. Võidusõidu auto pedaali tunnetus erineb mõningaselt tavaauto omast. Võidusõidu auto pedaalid peaksid olema täpsemad ning andma rohkem tagasisidet juhile. Võidusõidu auto gaasi, siduri ning - piduri pedaali tunnetus peaks olema võimalikult täpne, kiire ja andma head tagasisidet. Selle saavutamiseks tuleks gaasipedaalil näiteks kasutada täpse tugevusega vedrut. Piduripedaali puhul lisaks ka vastava jäikusega polüuretaanist pukse, mida saaks ideaalis vahetada (kui on soov saada pehmemat või jäigemad pedaali). Siduripedaalile tuleb lisaks juurde projekteerida ka selline lahendus, mis annaks juhile tagasisidet selle kohta millal on sidur lahutatud, millal mitte.

# 1. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Luues pedaali simulatsiooni süsteemi, on väga oluline arvesse võtta ka selle olemust. See peaks olema ligilähedane päris sõiduauto oma, et saada võimalikult sarnane pedaali tunnetus reaalse süsteemiga.

Antud lõputöös püüangi luua sellise prototüübi, mis suudaks kõike seda pakkuda mõistliku hinna piires. Minu lõputöö põhieesmärgid on järgmised:

- Teha turu-uuring hetkel müüdavatest pedaaalisüsteemidest
- Uurida arvuti simulatsiooni ajalugu, millest see kõik alguse sai
- Projekteerida enda gaasi,-piduri,- siduripedaal
- Valida oma projekti jaoks sobilikud komponendid
- Teha elektroonika komponentide valik
- Vastavalt pedaali tunnetusele luua süsteem mis pakub täpset pedaali tunnetust

## 2. SIMULATSIOON

Simulatsioon on realismi jäljendus. Simulatsioone on kolme tüüpi: Reaalselt toimuvad simulatsioonid: Päris inimesed tegutsevad päris maailmas, näiteks auto aku testimine testriga

Virtuaalne simulatsioon: Päris inimesed tegutsevad virtuaalses maailmas. Näiteks võidusõidu simulaator

Konstrukttiivne simulaator: Simuleeritud üksused tegutsevad virtuaalses maailmas. Siia kategooria alla kuuluvad näiteks erinevad ilma ennustus mudelid

Simulaator on seade mida võib kasutada mis tahes heli, liikumise ,nägemise ning haistmise kombinatsioonina, et kasutaja saaks kogeda reaalselt olukorda. Selleks heaks näiteks on võidusõidu simulaatorid. Nendes on olemas rool, käigukang, pedaalid ning monitor. Neid kasutatakse selleks, et sõita võidusõidu autoga mööda ringrada mis muutuvate piltidena kuvatakse monitorile. Sõites on kuulda mootori müra, pidurite kiuksumist, avarii korral metalli deformeerumise hääli. Mõned simulaatorid kasutavad ka liikumist, et tunnetada kiirendamist, aeglustamist ning kurvide läbimist (tihti peale on siis liikuma pandud tool, millel istutakse). Vaated, hääled, tunnetus loovad koosluse mille tulemusena saab kogeda auto võidusõitu.

Simulaatoritel on oluline koht ka õppimise seisukohalt. Simulaatorite abil on võimalik inimest treenida peaaegu iga olukorra jaoks. Simuleeritud töövahendid võivad olla täpselt sama väärtuslikud kui päris töövahendid. Simulaatorid on keerukad arvutite poolt loodud realismi jäljendused. Kui kasutada simulaatorit treeningute eesmärgil, siis peavad need simulaatorid olema võimelised looma võimalikult täpset reaalsust. Vastasel juhul kinnitub õpitu valesti. Kasutades võidusõidu simulaatorit, mis ei loo reaalsel mudelit, karakteristikut, siis ei õpita ka reaalsel autoga võidu sõitma. [10]

### 2.1. Simuleeritud võidusõit ehk *Sim racing*

„*Sim Racing*“ on lühend inglise keelsest sõnast „*simulated racing*“, mis tähendab eesti keeles simuleeritud võidusõitu. Võidusõit toimub simuleeritud keskkonnas, kus autole

mõjuvad realistlikud füüsikalised jõud. Võrreldes tavalise võidusõidu arvutimänguga, mis on disainitud selliselt et ka algajad saavad nende käsitlemisega lihtsasti hakkama, om „*sim racing*“ tarkvara loodud nii, et see jäljendab täpsemalt rehvide haardumist, vedrustuse tööd jne. Kuna *sim racing* tarkvara kasutab reaalseid füüsikalisi omadusi, siis auto käitumine piir olukordades pole nii andestav, kui tavalistes populaarsetes videomängudes. Selle tulemusena peab sõitja sõitma autoga samasuguste oskustega ning tehnikaga mida kasutavad ka päris võidusõitjad. Sõitja peab autot hoidma tasakaalus, säilitades kõigi nelja ratta pidamine, et saavutada parimaid tulemusi. Sooritades vea, kaotab sõitja kontrolli ka auto üle, mille tulemusena sõidab auto rajal välja ning lõpetab sõidu.

Kuna „*Sim-racing*“ pakub realistliku kogemust, siis paljud amatöörid , kui ka kogenenud võidusõitjaid kasutavad seda , kui töövahendit oma oskuste lihvimiseks [11]

## **2.2.Sõidu simulaatorite ajalug**

Sõidu simulaatori ajalugu ulatub tagasi aega enne Teist Maailmasõda. Esimene simulaator, oli lennusimulaator mida kasutati treenigu eesmärgil. Peamine eesmärk oli siiski vähendada kulusid sellega, et ei pea kasutama päris vahendeid. Lennu treenigu simulaatoritel kasutati peamiselt kahte lähenemisviisi: simulaatorid mis olid disainitud kõrgkvaliteedtselt või teisalt nii lihtsalt, kui võimalik, kuid mitte tehes järelandmisi treeningu efektiivsuses

Kiirteede teadusuuringute simulaatorid töötati välja 1950-ndate lõpus ning tegelik esimene kiirteede simulaator töötas 1960-date alguses. 1960-ndate keskel oli kiirteede simulaatorite arengus seisak puuduliku arvutitehnoloogia tõttu, kuid see ületati 1960-date lõpus. Enamus tehnoloogiat arendati Riiklikus Aeronautika-ja Kosmosevalituses NASA, et teostada oma kosmoseprogrammi. Need uuendused tõid tagasi huvi kiirteede simulaatorite vastu.

Viimasel sajandil on olnud tugev kasv sõidusimulaatorite kasutamisel valdkonnas, nii treeningute eesmärgil, kui ka liikluskäitumise uurimisel. Peamine põhjus oli arendada võimsamaid arvutisüsteeme madalama hinnaga. Varem olid sellised kontrollitud keskkonnad üsna ebarealistlikud ning nende seos pärismaailmaga oli minimaalne. Tänu tehnika arengule arenesid sõidusimulaatorid ning hakkasid pakkuma täielikku kontrolli



eksperimentaatoril ning realselt sõidukeskkonda. See tähendab ,et saadud tulemus on palju reaalsem ning on ülekantav päris maailma.[12]

### 2.3. Võidusõidu simulaatorite areng

1. Revs (joonis 1.) –Commodore 64 – esitleti 1985 aastal ning oli üks esimesi simulaatori sugemetega võidusõidu mängu. Mäng töötas Commodore 64 ning BBC Micro süsteemil.



**Joonis 1.** Revs võidusõidu simulaator [13]

2. Revs+ oli järg legendaarsele REVS-le . Antud versioonis lisati originaalversioonile mõned uuendused:, esi ning tagatiiva seadistamine, 4 uut ringrada.
3. Indianapolis 500 The simulation (joonis 2.) - 1989 aastal esitles Papyrys Indianapolis 500 ning alates sellest mängust tõusis „Sim racing“ populaarsus märgatavalt. Antud simulatsioon jooksis 16-bit PC tarkvaral. Kuigi see koosnes vaid ühest ringrajast, sai sõitja sõita täispikkuses legendaarsel 500 miilisel Indy 500 ringrajal. Isegi rehvi lõhkemine peale 450 miili läbimist kõrvaldas mängija võidusõidust. Antud võidusõidu simulaator oli ülemaailmselt väga edukas, müües üle 200 000 koopia ning tõi võidusõidu simulaatorid massidesse.



**Joonis 2.** Indianapolis 500 [13]

4. Formula One Grand Prix (joonis 3.) - Järgmine tähtis samm oli Formula One Grand Prix simulaatori esitlemine 1992 aastal MicroProse poolt ning mida arendas Geoff Crammond. Antud simulaator arendas võidu sõidu simulaatorite žanrit oluliselt ning pakkus sõitjale täiesti uut kogemust. Täpselt modelleeritud rajad tähendasid seda, et mängija sai oma asukohta võrrelda päris ringrajaga. Detailne füüsika tagas veelgi reaalsema sõidukogemuse. Sõitja sai tunda erinevust näiteks selles osas kuidas erineva kiirusega kurvi sisenemine mõjutab auto juhitavust ning kui kiirelt kurvist välja kiirendada



**Joonis 3.** Formula One Grand Prix [13]

5. Indycar Racing (joonis 4.) - 1993 aastal esitles Papyrus legendaarse Indy500 järglast Indycar Racing. Võrreldes originaaliga, kus oli ainult üks ringrada, oli selle versioonis 8 ringrada ning hiljem lisati 7 rada juurde. Samuti oli võimalik muuta ka autode värviskeemi. Mängu müüdi ligikaudu üle 300 000.



**Joonis 4.** Indycar Racing [13]

6. Nascar Racing (joonis 5.) - 1994 esitles Papyrs järgmist simulaatorit, Nascar. See osutus väga suureks hitiks, müües üle 1 000 000 koopia. Suure edu tagas tolle aja kohta hea SVGA graafika. Autod meenutasid autosid, mitte enam kaste ning ka füüsikat arendati kõvasti edasi.



**Joonis 5.** Nascar Racing [13]

7. World Circuit Grand Prix II (joonis 6.) - 1995 aastal esitles MicroProse F1GP järglast, World Circuit Grand Prix II. Antud simulaatori eripära seisnes selles, et kasutajal olid väga suured muutmisvõimalused, näiteks sõitjate meeskondi, graafikat, füüsika, autode kuju ning isegi ringradu. See simulaator omas mitmeid uuendusi oma valdkonnas: SVGA graafika (800x600), vastassõitja, väga detailsed ringradad, erinevad mootorite ning käigukasti rikked, mis lisasid mängule realismi.



**Joonis 6.** World Circuit Grand Prix II

8. Nascar II (joonis 7.) - 1996 esitles Papyrus Nascar 2. Võrreldes originaaliga Nascar 1-ga suuri muutusi ei tehtud. Peamine uuendus oli kümne võrguserveri lisamine, mis hakkas kasvatama võrgus mängijate arvu.



**Joonis 7.** Nascar II [13]

9. F1 Racing Simulator (joonis 8.) - Üks esimesi simulaatoreid 3D kiirendiga videokaardi toega, mis tagas parema graafika. Uuendusteks olid ka ilmastikunähtused, mis lisasid realismi. Näiteks muutuv ilm, pilvisus jne. Auto mudelid olid disainitud täpselt nagu päris autod.



**Joonis 8.** F1 Racing Simulator [13]

10. Grand Prix Legends (joonis 9.) - 1998 aastal Papyruse poolt esitletud simulaator põhines 1967 vormel F1 seerial. Antud simulaatori tegid eriliseks täiesti uus füüsika ning uued võimalused võrgus mängimiseks. Täiesti nullist üles ehitatud füüsika tagas äärmise realismi, mida polnud varem ükski simulaator pakkunud. Antud simulaatori peamiseks probleemiks oligi liigne keerukus algajate jaoks.



**Joonis 9.** Grand Prix Legends [13]

11. Live for Speed (joonis 10.) - Tegu on 2003 aastal esitletud võrgus töötava simulaatoriga, mis arendati välja kolme inimese poolt. Peamiseks eesmärgiks on tagada reaalselt võidusõitu võrgus teiste mängijatega ning dramaatilist sõitu koos arvuti poolt juhitava vastassõitjaga. Antud simulaator on kodulehelt tasuta alla laetav. Tasuta versioon sisaldab kolme autot ja ühte ringrada ning kui osta täisversioon siis autode ning võidusõidu radade valiku võimalus suureneb veelgi. Antud simulaator on populaarne tänase päevani, üheks põhjuseks on kindlasti realism ning laiad auto seadistamis võimalused.





**Joonis 10.** Live for Speed

12. Richard Burns Rally (joonis 11.) - 2004 aastal esitletud simulaatorit peetakse ühte kõige raskemaks ning reaalsemaks simulaatoriks. Richard Burns Rally arendati Warthdogi poolt ning juhendas WRC meister Richard Burns



**Joonis 11.** Richard Burns Rally [13]

13. rFactor (joonis 12.) - 2005 aastal turule toodud simulaatori tegi eriliseks laialdaselt muudetav füüsika. Algselt simulaator sisaldas väljamõeldud autosid ning ringradu. Lisapakettidega lisati ka päris autod, vormelid ning päris ringrajad. rFactorit peetakse kõige täpsemaks võidusõidu simulaatoriks, sisaldades täpset rehvide modelleerimist, 15 vabadusastmega füüsikalist mootorit ning keerulist aerodünaamikat.



**Joonis 12.** rFactor [13]

14. Race 07: Official WTCC Game (joonis 13.) - Esitleti 2007 aastal SimBin Studio poolt ning World Touring Car Championship(WTCC) litsentsi alusel. Antud simulaator sisaldab üle 300 auto üheksas erinevas võistlusklassis ning täielikku 2006 ja 2007 aasta FIA ringrajaautode maailmameistrivõistlus hooaegu



**Joonis 13.** Race 07: Official WTCC Game [13]

15. Iracing (joonis 14.) - Antud simulaatorit esitleti 2008 aastal ning mida täiustatakse tänasepäevani. Kõik selle autod ning ringrajad on ametlikult litsentseeritud. On olemas ka erinevad võistlusklassid, nagu näiteks Nascar, IndyCar, Austraalia V-8

superautod jne. Tegu on ühe täiuslikuma võrgu võidusõidu simulaatoriga maailmas.



**Joonis 14.** Iracing võidsõidu simulaator [13]

Võidusõidu simulaatoris on lühikese aja jooksul läbi teinud tohutu arengu, nii graafilise poole pealt, ning muutunud ka aina reaalsemaks. Kindlasti on üheks põhjuseks olnud tehnika kiire areng, mis lubab kasutusele võtta üha paremaid tingimusi realismi loomiseks ning graafika arendamiseks. Selle tulemusena on tänapäeva simulaatorid äärmiselt tõetruud oma füüsika, karakteristiku, realismi pooles ning suudavad pakkuda reaalselt võidusõidu kogemust. [13]



### 3. HETKEL TURUL OLEVAD TOOTED

Esmalt koostan võrdluse turul olevate toodetega, et luua oma prototüüp, mis suudaks oma hinnalt ja omadustelt nendega konkureerida

#### 1. Logitech G920 (joonis 15.)

Hind: 378€ (Koos rooliga)

Põhiomadused:

- Mittelineaarne piduripedaal jäljendab rõhutundlikku pidurisüsteemi , et saada täpsem piduritunnetus.
- Kummist katted, patenteeritud libisemisvastane kate tagvad selle , et pedaalid jäävad paika.
- Ise kalibreerivus

Pedaalide raam ja pedaalide materjal : Külmalvalitsud teras

Pedaali katted: Harjatud roostevaba teras

Pedaali kolvi hülsid: Polüoksümetüleen termoplastist (POM) [1]



Joonis 15. Logitech G920 [1]

## 2. Thrustmaster T3PA-PRO ADD-ON (joonis 16.)

Hind: 176€

Põhiomadused:

- Seadistav pedaalide omavaheline kaugus (3 võimalikku positsiooni igale pedaalile)
- Seadistatav pedaalide kaldenurk( 2 võimalikku positsiooni igale pedaalile)
- Seadistatav pedaalide kõrgus ( 4 võimalikku positsiooni gaasipedaalile, 3 võimalikku positsiooni piduri ja siduri pedaalile)
- Seadistatav rõhu jõud ja seadistatav pedaalide liikumisulatus

Materjal: metall

Kaal: 7kg

Piduripedaali on võimalik seadistada 2 erineval võimalusel:

- „*Spring brake mod*“ –Koosneb lisa survevedrust
- „*CONICAL RUBBER BRAKE MOD*“ Koosneb kooniliselt kummipuksist, mis on valmistatud suure tihedusega kummist, et tagada võimalikult täpne pedaali tunnetus. [2]



**Joonis 16.** Thrustmaster T3PA-PRO ADD-ON [2]

### 3. Fanatec Clubsport Pedals V3 (joonis 17.)

Hind: 283 €

Põhiomadused:

- *Load cell* piduri ja siduripedaalil
- ABS piduri vibratsioon piduripedaalil
- Gaasipedaali vibratsioon
- Horisontaalset ja vertikaalselt seadistavad pedaaleid
- Seadistatav pedaali nurk
- Vahetatavad pedaali katted
- Gaasi ja siduri pedaali vedru tugevuse muutmise võimalus

Materjal: CNC masinas töödeldud alumiinium [3]



**Joonis 17.** Fanatec Clubsport Pedals V3 [3]

### 4. Fanatec: CSL Elite Pedals (joonis 18.)

Hind: 220 €

Põhiomadused:

- Horisontaalselt seadistavad pedaaleid
- Vahetavad pedaali katted
- Siduri pedaali juurde ostu võimalus

- Piduri pedaal koos metallist vedru ja PU vahust puksiga
- Materjal. Survevalu alumiinium[4]



**Joonis 18.** Fanatec: CSL Elite Pedals [4]

#### 5. Heusinkveld sim pedals ultimate (joonis 19.)

Hind: 250.00 €–1,329.00 €

Põhiomadused:

- 12 BIT elektroonika
- Maksimaalne pidurdusjõud: 136 kg
- Maksimaalne siduripedaali jõud: 45kg
- Täielikult seadistav pedaalide geomeetria ja pedaalide jõud.
- Seadistatav hüdroaulised silindrid igal pedaalil

Disainitud CAD ja FEAs, kõik konstruktsiooni osad on valmistatud laser lõigatud roostevabast terasest mis on enne koostamist klaaskuulpritsitud

Gaasipedaalil on hüdrosilinder, mis aitab parandada gaasipedaali sujuvust. Piduripedaali tugevust saab muuta lisades/vähendades kummipukse. Maksimaalne jõud on 136kg

Heusinkveld Sim Pedals Ultimate siduri pedaalil on regressiivne vedrumehhanism, mis lubab kergelt muuta jõudu, liikumisulatust ja tunnetust. Maksimaalne siduripedaali jõud on 45kg [5]



**Joonis 19.** Heusinkveld sim pedals ultimate [5]

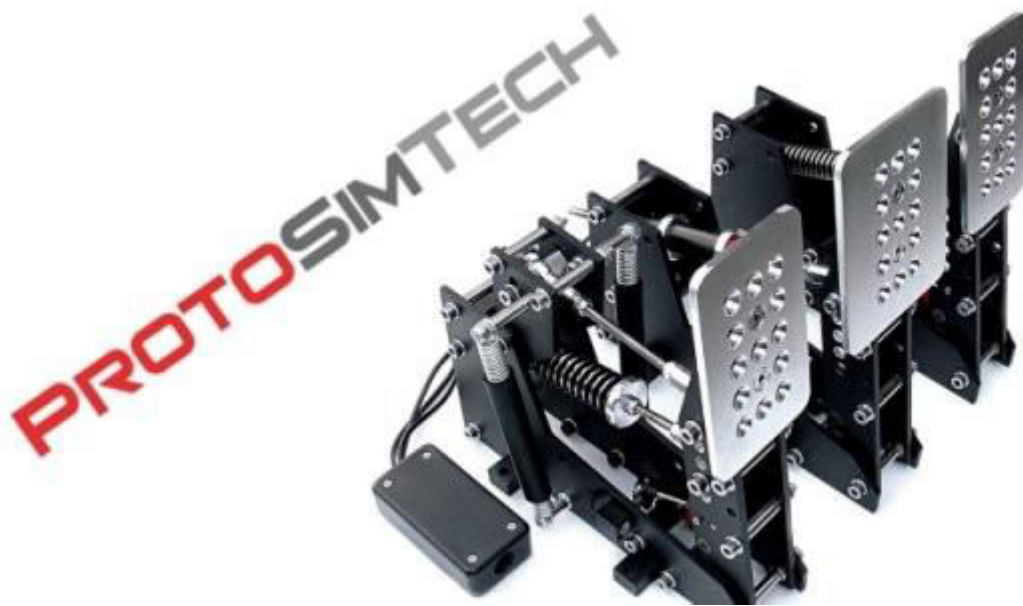
Proto simtech PT-1 (joonis 20.)

Hind: 413 €

Põhiomadused:

- Kaks potentsiomeetrit, üks gaasipedaalil ning teine siduripedaalil
- 50 kg load cell piduripedaalil
- Mitmed võimalikud pedaalide katete asendid
- Seadistatav pedaalide kõrgus
- Seadistatav vedru pingus
- Seadistatav pedaalide liikumisulatus
- Seadistatav siduripedaali tunnetus
- Seadistatav load celli asukoht ( kergema ja raskema piduri jaoks)

Materjal: Täis alumiinium, roostevaba teras, [6]



**Joonis 20.** Proto simtech PT-1 [6]

Simworx Pro GT V2 Pedal Set (joonis 21.)

Hind: 978 €

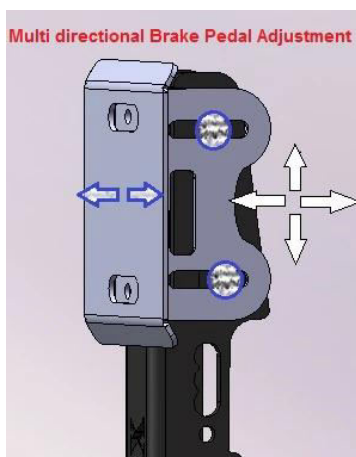
Põhiomadused:

- Hüdroauline piduripedaal,
- Piduripedaali asend on täielikult seadistav,
- Vedruga „over centre“ siduri mehhanism annab pedaalide päris auto siduripedaali tunnetuse. Gaasi pedaal on täielikult seadistav.
- Piduripedaali on võimalik seadistada kuuel erineval viisil. Piduri eelkoormus ja käik on sammuti seadistatavad. (joonis 22.)
- Siduri pedaal on võimalik seadistada üles ja alla on reaalne keskasendi siduriketta vabastamis tunne.
- 120 kg maksimaalne pidurdusjõud

Materjal: CNC masinas töödeldud metall [7]



**Joonis 21.** Simworx Pro GT V2 Pedal Set [7]



**Joonis 22.** Piduripedaali seadistamine [7]

## 6. REALGEAR GTPRO3 XTREME TILTON FLOOR MOUNT 3-PEDAL SET (joonis 23.)

Hind: 1459 €

- Gaasipedaalile on paigaldatud lisa vedru, mis tagab veel täpsema tunnetuse ja kõrvaldab liialt jäiga pedaalikäigu. Lisaks käitab pedaali „Honeywell“ halliandur.
- Piduripedaali töösilinder on selliselt projekteeritud, et tagada võimalikult pärismaailma pedaaali tunnetus. Piduripedaalil on 3 võimalikku koormust 45 kg, 80kg ja 160kg.

- GTpro3 Xtreme sidur kasutab sarnase diafragma vedrusid, mis päris võidusõiduautodel, koos suure algse jõupingutusega, samal ajal vähendades vajalikku jõudu, kui vedru on lapik.
  - Siduripedaali vajutus käivitab pneumaatilise peasilindri, mis kasutab rõhuandurit, mitte positsiooniandurit.
  - Pedaalid on seadistatavad nagu päris võidusõiduautol
- Materjal: Alumiinium [8]



**Joonis 23.** REALGEAR GTPRO3 XTREME TILTON FLOOR MOUNT 3-PEDAL SET [8]

7. SimCraft / Tilton PRO Sim Racing Pedals – Floor mounted / 3 pedal (joonis 24.)

Hind: 1177 € - 1549 €

Põhiomadused

- Vertikaalselt ja horisontaalselt seadistavad pedaali katted
- Piduripedaalil 50 ja 120kg load cell, võimalik seadistada nii pedaali käiku, kui ka vastupanu.
- Pedaalide kinnituspoltidel on vedruseibid, mis vähendavad pedaalide liikumist külgsuunas ning kasutusel on õliga immutatud pronks puksid, et vähendada hõõrdumist
- Seadistav siduripedaal

Materjal: Alumiinium [9]





**Joonis 24.** SimCraft / Tilton PRO Sim Racing Pedals – Floor mounted / 3 pedal [9]

Tähtsamad omadused on välja toodud tabel 1.

**Tabel 1.** Turul olevate pedaali omaduste kokkuvõte

<u>Mudel</u>	<u>Materjal</u>	<u>Seadistamis võimalused</u>	<u>Hind</u>	<u>Spetsiifilised omadused</u>
Logitech G920	Külmvalitsud teras	Puudub	378€	Mittelineaarne piduripedaal, ise kalibreerivus
Thrustmaster T3PA-PRO ADD-ON	Metall	Seadistav pedaalide omavaheline kaugus, kaldenurk, kõrgus. Seadistatav rõhujõud ja seadistatav pedaalide liikumisulatus	176€	„CONICAL RUBBER BRAKE MOD,“ „Spring brake mod“
Fanatec: CSL Elite Pedals	Survevalu alumiinium	Horisontaalselt seadistavad pedaalid	220€	Piduri pedaal koos metalist vedru ja PU vahust puksiga

**Tabel 1. järg**

Fanatec Clubsport Pedals V3	CNC masinas töödeldud alumiinium	Horisontaalset ja vertikaalselt seadistavad pedaalid Seadistatav pedaali nurk Gaasi ja siduri pedaali vedru tugevuse muutmise võimalus	283€	<i>Load cell</i> piduri ja siduri pedaalil  ABS piduri vibratsioon piduri pedaalil
Heusinkveld sim pedals ultimate	Laser lõigatud roostevaba teras	Täielikult seadistav pedaali geomeetria ja pedaalide jõud	250.00 € – 1,329.00 €	Siduri pedaalil on regresiivne vedrumehhanism, mis lubab kergelt muuta jõudu, liikumisulatust ja tunnetust
Proto simtech PT-1	Täis alumiinium, roostevaba teras	Seadistatav pedaalide kõrgus, liikumisulatus Seadistatav vedru pingus, siduripedaali tunnetus Seadistatav load celli asukoht	413 €	Kaks potentsiomeetrit, üks gaasipedaalil ning teine siduripedaalil 50 kg load cell piduripedaalil
Simworx Pro GT V2 Pedal Set	CNC masinas töödeldud metall	Gaasipedaal on täielikult seadistav. Piduripedaali on võimalik seadistada kuuel erineval viisil. Piduri eelkoormus ja käik on sammuti seadistatavad. Siduripedaali on võimalik seadistada üles ja alla	978 €	Vedruga „over centre“ siduri mehhanism
REALGEAR GTPRO3 XTREME TILTON FLOOR MOUNT 3-PEDAL SET	Alumiinium	Pedaalid on seadistatavad nagu päris võidusõidu autol	1459 €	Gaasipedaalile on paigaldatud lisa vedru, mis tagab veel täpsema tunnetuse ja kõrvaldab liialt jäiga pedaalikäigu. Lisaks pedaali käitab „Honeywell“ halliandur.
SimCraft / Tilton PRO Sim Racing Pedals – Floor mounted / 3 pedal	Alumiinium	Seadistav siduripedaal. Võimalik seadistada nii pedaali käiku, kui ka vastupanu.	1177 € - 1549 €	Pedaalide kinnituspoltidel on vedruseibid, mis vähendavad pedaalide liikumist külgsuunas ning kasutusel on õliga immutatud pronks puksid, et vähendada hõõrdumist

Hind sõltub suuresti lisadest mida on võimalik pedaalide lisada, näiteks erinevad seadistamisvõimalused, *load cellide* lisamine jne. Hinda mõjutab ka see, kas tegu on masstootmisega või pigem väikeseeria tootmisega. Masstootmise juures saadakse odavamalt müüa seetõttu, et suured tootmismahud teevad tasa arenduskulud. Väikeseeria puhul seesugust võimalust pole ning see kajastub hindades. Väiketootjate tooted on oluliselt kallimad, kui näiteks üldlevinud Logitech'i toodang. Samas pakuvad väiketootjad rohkem lisasid oma pedaalide ning suuremaid seadistamisvõimalusi, millest suuresti sõltub ka hind. Mida rohkem lisasid/võimalusi pedaalide juurde lisada, seda kõrgem on hind. Masstoodangu puhul suuri seadistamis võimalusi pole, kuna see toots tootjale suuri kulutusi ning see ei tasuks ära. Kokkuvõtvalt võib öelda, et kui on soov soetada head pedaalidesüsteemi, mis pakub reaalse autoga sarnast pedaalide tunnetust, tuleks kindlasti vaadata väiketootjate toodangut. Nende pedaale saab seadistada täpselt oma vajaduste järgi ning pakuvad laia ja suurt valikut vastavalt kliendi soovile, järgi andmata kvaliteedis.

## 4. TOOTEARENDUS

Tootearenduse mõiste võeti kasutusele eelmise sajandi 70. aastate keskel. Tööstustoodangu maailmaturg täitus ja tööstus seisis probleemi ees, kuidas tihedas turukonkurentsis ellu jääda. Ainukeseks võimaluseks oli tootearendusele kuluvat aega oluliselt kärpida. Sel põhjusel töötatigi välja toodete uuendamise kiirendamise põhimõtted, mida iseloomustavad paralleelne, integreeritud ja samaaegne sünergiapõhine tegevus toote turundusel, projekteerimisel, tootmisel ning finantseerimisel, eesmärgiga luua tooteid, mis oleksid maailmaturul konkurentsivõimelised. Selle liitprotsessi tunnuseks hakati kasutama mõistet integreeritud tootearendus. Eesti keeles võeti tootearenduse mõiste kasutusele 1992. aastal. [14]

Tootearendusprotsessi mudeli töötas esimesena välja Olsson. Seda on ajajooksul mitmed uurijad täiustanud. Tootearenduse protsessi mudel koosneb erinevates etappidest. Uus tootearendus hõlmab kõiki etappe, aga toote kaasajastamisega korraldada võib esimesi etappe ära jätta. esimese etapi väljundiks on toote kuvand koos selle funktsioonide kindlaksmääramisega. Teises etapis tuleb valida toote funktsioonide realiseerimiseks vajalikud füüsilised efektid ja koostada vastavad skeemid. Kolmandas etapis tuleb projekteerida kõik kooste- ja detailjoonised ning toote valmistamiseks vajalikud rakised. Neljandas etapis tuleb korraldada nn alfabatsed toote töökõlblikkuse ja kiirvalmistamise võimalusi. Oluline tootearendusprotsessi on ka see ,et kogu protsessi jooksul tuleb võrrelda oma plaanitava toote hinda juba turul müüdavate toodetega. [14]

Ka oma lõputöös käsitleva teema puhul jälgin tootearenduse etappe, kuna tegu on tootega, millel võiks ka turgu olla. Tegin võrdluse konkurentidega, mis on nende eelised ja puudused ning kuidas mina oma toote puhul saaksin neid parandada, koostasid joonised. Oluline on muidugi ka projekti maksumus, kui projekt kujuneb liialt kalliks, siis on oht ,et tootel puudub ostjaskond.

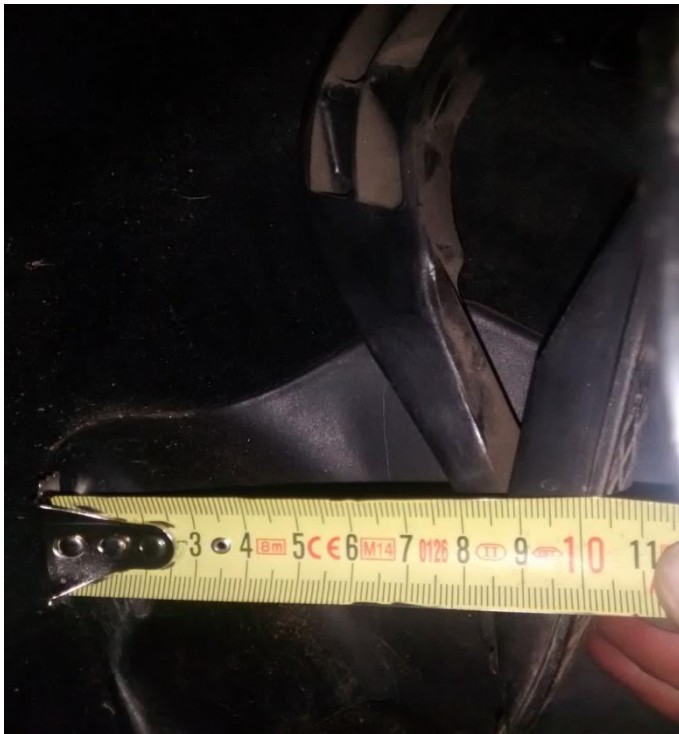
## 5. PROJEKTEERIMINE

Luues pedaalisüsteemi, on oluline arvestada esiteks jõududega, mis tekivad pedaalile vajutades, samuti maksumusega, ning pedaali käiguga. Nendega seoses tehakse ka valik komponentidest, mida antud projektis kasutatakse. Reaalse pedaalide liikuvuse saamiseks sooritasin päris sõiduautoga katsed, kus esmalt mõõtsin pedaali kauguse põrandast kõige ülemises asendis ning seejärel pedaali kauguse põrandast, kui pedaal oli alla vajutatud. Siduri puhul ka selle koha, kus on sidur lahutatud ja kus mitte. Katseobjektiks oli 1993 aasta Audi 80 B4. Gaasipedaali algasend on näha joonisel 25. See on ühtlaselt ka kõigi kolme pedaalide algasendi kaugus põrandast



**Joonis 25.** Audi 80 gaasipedaal algasendis

Joonisel 26. on näha gaasipedaali lõppasend.



**Joonis 26.** Audi 80 gaasipedaali lõppasend

Joonisel 27. on näha Audi 80 piduripedaali lõppasendit



**Joonis 27.** Audi 80 piduripedaali lõppasend

Joonisel 28. on näha Audi 80 siduri kaugus põrandast, kui sidur on lahutatud



**Joonis 28.** Audi 80 siduri kagus pörandast lahutamise hetkel

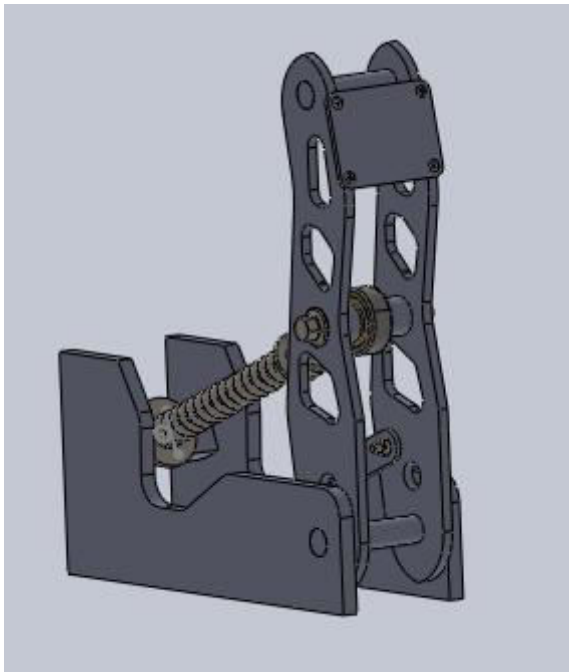
Antud joonistel on näha, et auto gaasipedaali liikumise ulatus oli ligikaudu 60mm, piduripedaali liikumisulatus 50mm ning siduri lahutamise punkt 100 mm pörandast. Selleks, et saavutada reaalselt pedalisüsteemi, võtan kõigi kolme pedaaali projekteerimisel neid tulemusi arvesse.

## **5.1. Gaasipedaal.**

Selleks, et saada selline gaasi pedaal mis oleks võimalikult täpne, kiire ning annaks head tagasisidet otsustasin kasutada pedaalil vastava tugevusega survevedru. Kui kasutada vale jäikusega survevedru, siis arvatavasti pedaal ei annaks juhile head tagasisidet, oleks liiga raske või jällegi liiga kerge. Kõige parema tulemuse annabki see, kui arvestada inimese täpse jalajõuga, mida ta pedaalile rakendab, kui pedaal alla vajutada. Selle järgi saab valida sobiva survevedru. Arvutile signaali edastamiseks on kaks peamist võimalust. Kasutada analoog potentsiomeetrit või enkoodreid. Analoo potentsiomeetri puuduseks on see, et enne signaali edastamist arvutisse, tuleb analoog signaal ümber konverteerida digitaalseks signaaliks kas lisa kontrolloriga või programmeerimise teel. Enkoodrid on küll kallimad,

kuid neil puudub vajadus lisa kontrolleri või programmeerimise järgi, mis konverteeriks analoog signaali digitaalseks signaaliks. Käesolevas uuringus valmiva pedaalisüsteemi puhul otsustasin tõrgete vältimiseks kasutada siiski enkoodreid. Kontrolleriks otsustasin kasutada DSD 12-bit kontrolleri. Selle kontrolleri kasuks otsustasin, kuna antud toodet on lihtne kasutada, selles mõttes, et see on juba disainitud võidusõidu simulaatorite jaoks. Pedaale on lihtne kalibreerida (antud kontrolleri on juba olemas oma tarkvara) ning seda kontrolleri on lihtne arvutiga ühendada. Ühendamine toimub läbi USB kaabli.

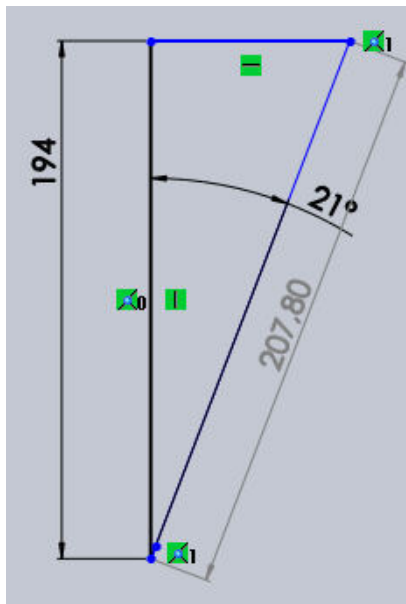
Enkooder mida kasutan, on 12 positsiooniline ning tootjaks DSD. Selle kasuks otsustasin, kuna ka kontrolleri on DSD toodang, seega tõrgete vältimiseks valisin ka sama tootja enkoodrit. Lõplik gaasipedaali mudel on näha joonisel 29.



**Joonis 29.** Gaasipedaal

Gaasipedaali liikumise ulatuse (pedaali käik) leidmiseks kasutasin Pythagorase teoreemi, kus kaatetite ruutude summa võrdub hüpotenuusi ruuduga. Pedaali liikumise nurgaks gaasipedaali puhul määrasin  $21^\circ$ . Teada on ka pedaali pikkus, see on 194 mm. Järgmiseks koostas Solidwork keskkonnas järgneva mudeli (joonis 30.).





**Joonis 30.** Gaasipedaali liikumise ulatus

Gaasipedaali liikumise ulatuse leian järgneva valemi (1.) abil:

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} \quad (1.)$$

kus  $b$  on pedaali liikumise ulatus e pedaali käik mm;

$c$  – pedaali pikkus lõppasendis (möödetuna algpunktist) mm;

$a$ – pedaali pikkus algasendis mm;

Joonis 30. on näha pedaali lõppasendi pikkus ning pedaali pikkus algasendis, asendades teada olevad väärtused valemisse (1.) ,saame pedaali liikumise ulatuse.

$$b = \sqrt{207,8^2 - 194^2} = 74,4 \text{ mm}$$

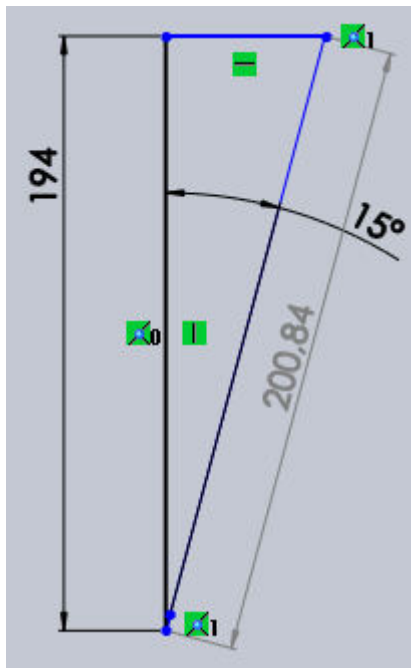
Ehk siis gaasipedaali liikumis ulatus on 74,4 mm, mis vastab ligilähedaselt eelnevalt läbiviidud katse tulemusega.

## 5.2. Piduripedaal

Piduripedaali puhul otsustasin lisaks survevedrule kasutada ka polüuretaanist pukse, et tagada pedaalile võimalikult reaalne tunnetus ning need püksid oleksid vahetavad, et valida pehmema ja jäigema pedaali vahel. Polüuretaanist pukse otsustasin kasutada seepärast, et

need tagavad vajaliku jäikuse pedaalile. Arvutile signaali edastamiseks kasutan piduri pedaalil puhul sama süsteemi, mis gaasi pedaalil puhul. Piduri pedaaliga on ühendatud enkooder, mis saadab signaali DSD kontrollerrisse, mis omakorda edastab selle siis arvutile.

Piduripedaali liikumise ulatuse (pedaali käik) leidmiseks kasutan valemit 1. Pedaali liikumise nurgaks piduri pedaalil puhul määrasin  $15^\circ$ . Teada on ka pedaali pikkus, milleks on 194 mm. Järgmiseks koostasid Solidwork keskkonnas järgneva mudeli (joonis 31.):



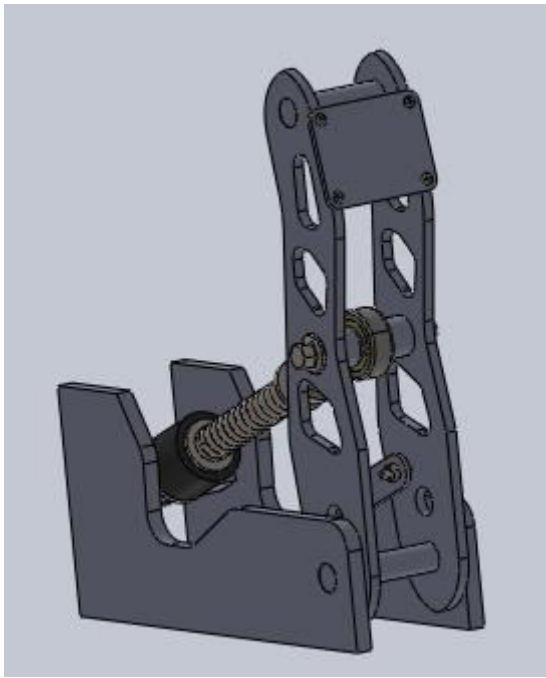
**Joonis 31.** Piduripedaali käik

Pedaali käiguks antud joonisel on kaatet  $b$ , asendan olemas olevad väärtused valemisse 1.

$$b = \sqrt{200,84^2 - 194^2} = 52 \text{ mm}$$

Ehk siis piduripedaali liikumise ulatus (pedaali käik) on 52 mm, mis vastab ligilähedaselt eelnevalt läbi viidud katse tulemusega.

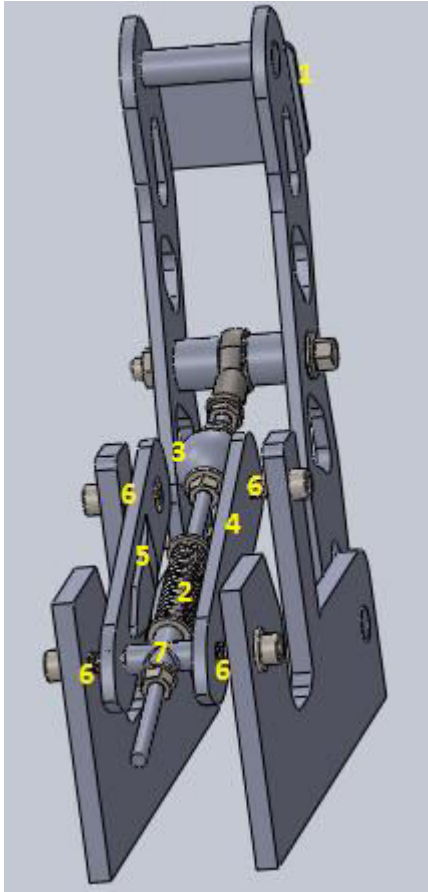
Lõplik piduripedaali mudel on näha joonisel 32.



**Joonis 32.** Piduripedaal

### **5.3. Siduripedaal**

Siduripedaalil tuleb projekteerida süsteem mis annaks juhile tagasisidet , kas sidur on lahutatud või mitte. Selleks otsustasin kasutada sellist lahendust, nagu on näha joonisel 33. Põhimõte seisneb selles, et kui vajutada siduri pedaali (1), siis pedaal liigub alla ning avaldab survevedrule (2) jõudu, ühtlasi liigub alla ka völliil olev kera (3). Kui kera jõuab plaatide (4) vahele, siis teatud hetkel plaatide läbimõõt kasvab (5), siis peaks toimuma niiõelda jõnks, mis annab juhile tagasisidet kas sidur on lahutatud või mitte. Ühtlasi liiguvad siduri plaadid kergelt külgedele tänu survevedrudele (6). Pedaali alumist otsa hoiab üleval keermelatil olev puks (7) mille sisse on läbi küljeplaatide keeratud M5 poldid.



**Joonis 33.** Siduri pedaali toimimise põhimõte

Arvutile signaali andmiseks kasutan samuti enkoodrit, mis on ühendatud DSD kontrolleriiga, nagu kahe ülejäänud pedaali puhul.

Siduripedaali liikumise ulatus (pedaali käik) , on sama mis piduripedaali puhul ehk 52 mm.

## 5.4 Komponentide valik

Pedaali komponentide valikult tuleks lähtuda pedaalide liikumise ulatusega ning ka sellega, et jala poolt tekitatud jõud võidusõidu autos on maksimaalselt ligikaudu 534N, 356N on peaaegu ideaalne igasugu võidusõidu jaoks [15]. Gaasipedaali puhul peab arvestama ka sellega, et pedaali alla vajutamiseks läheb tunduvalt vähem jõudu tarvis, kui piduri, kui ka siduri pedaalil. Nendest aspektides lähtuvalt otsustasin gaasipedaalil kasutada Misumi poolt toodetavat survevedru 5727, mille andmed on näha tabelis 2.

**Tabel 2.** Survevedru 5727 tähtsamad andmed[16]

Pikkus kokkusurumata (mm)	Pikkus Kokkusurutuna (mm)	Traadi läbimõõt (mm)	Lubatud jõud (N)	Vedru jäikus (N/mm)
110	27,9	2,5	182,28	2,215

Piduri vajutamiseks rakendatakse rohkem jõudu, selle põhjal valisin pidurile Misumi poolt toodetav survevedru 5732, mille andmed on näha tabelis 3.

**Tabel 3.** Survevedru 5732 tähtsamad andmed [16]

Pikkus kokkusurumata (mm)	Pikkus Kokkusurutuna (mm)	Traadi läbimõõt (mm)	Lubatud jõud (N)	Vedru jäikus (N/mm)
88,5	27,4	3,2	360,65	5,919

Siduri survevedruks valisin Misumi poolt toodetava 5731 survevedru, mille andmed on näha tabelis 4.

**Tabel 4.** Survevedru 5731 tähtsamad andmed [16]

Pikkus kokkusurumata (mm)	Pikkus Kokkusurutuna (mm)	Traadi läbimõõt (mm)	Lubatud jõud (N)	Vedru jäikus (N/mm)
58,5	19,8	3,2	360,64	9,3

Siduri küljeplaatidele valisin Misumi poolt toodetava 5058 survevedrud, mille andmed on näha tabelis 5

**Tabel 5.** Survevedru 5058 tähtsamad andmed [16]

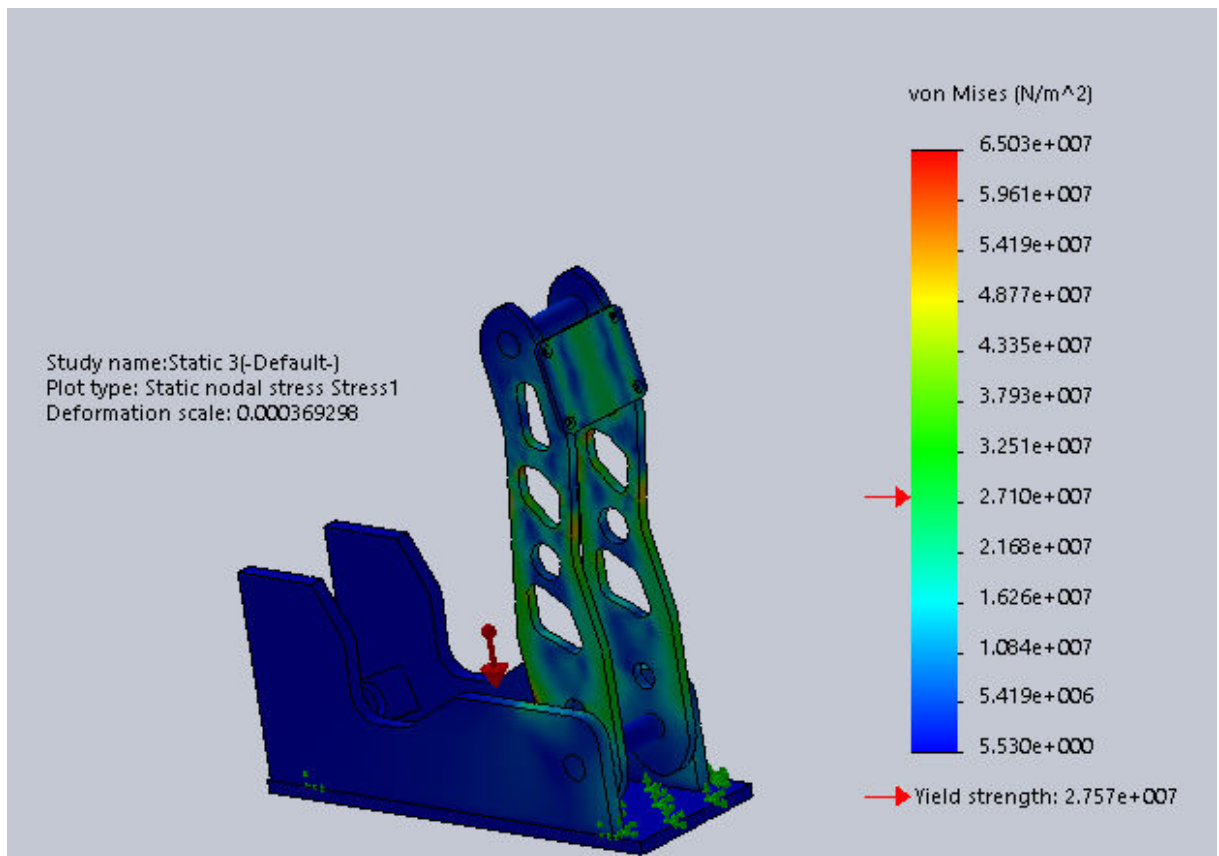
Pikkus kokkusurumata (mm)	Pikkus Kokkusurutuna (mm)	Traadi läbimõõt (mm)	Lubatud jõud (N)	Vedru jäikus (N/mm)
5,2	1,7	0,12	0,441	0,1274

Materjaliks antud projekti puhul on laser lõigatud alumiinium, kuna selline lahendus on kõige soodsam ning ka kaalu poolest kõige kergem. Kinnitusvahenditeks meetermõõdustikus poldid, mutrid, seibid, keermelatt. Jala libisemise vältimiseks pedaalilt, kasutatakse jalaplaadil libisemisvastast teipi (joonis 34.) Keermelati ühendamiseks pedaalidega kasutakse sisekeermega kuuliigendeid. Piduripedaali ning gaasipedaali puhul M6 mõõdus ning siduri puhul M5 mõõdus

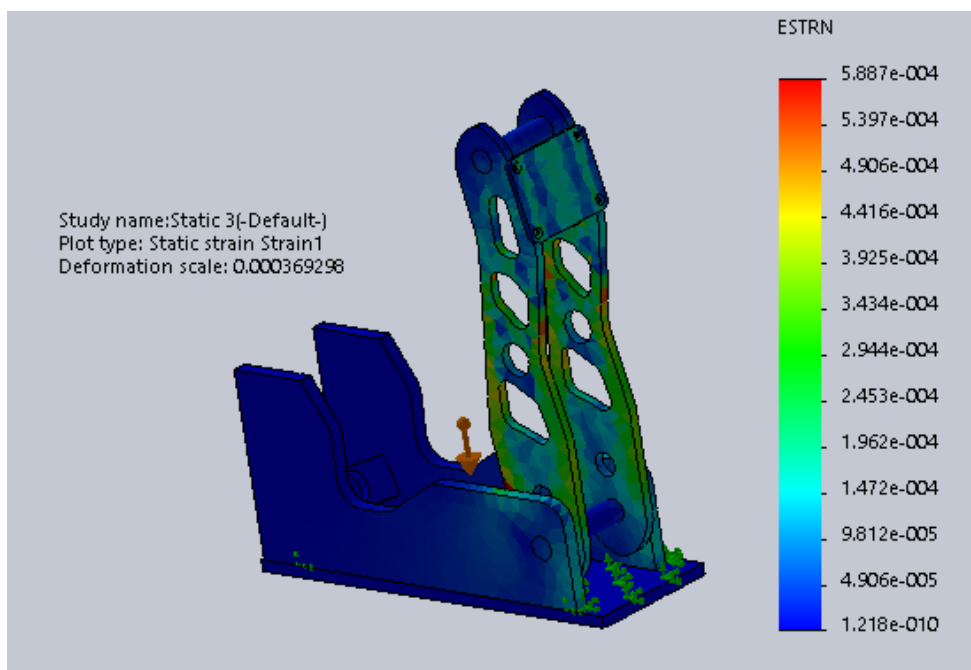
Saamaks teada, et kas valitud materjal ja paksus on sobilik, viisin pedaali raamile Solidworks keskkonnas läbi vastava simulatsiooni, milles rakendasin pedaali raamile 540 Newtonit jõudu. Tulemustes on näha raami survepinget kui ka tõmbepinget. (joonis 35. ja 36. ). Survepinge ning tõmbepinge on mõeldud selleks, et teha kindlaks materjali kriitilise olukorra kriteeriumid käitumise. Mõlemad on seotud jõududega, mis avalduvad materjali struktuuris. Survepinge ning tõmbepinge peamine erinevus seisneb selles, et tõmbepinge on mõõde sisesurvest mis on jaotatud süsteemis, kuid survepinge on geomeetrilise kuju muutus rakendatud jõu tõttu. [17]



**Joonis 34.** Libisemisvastane teip [18]



**Joonis 35.** Pedaali raami tõmbepinges simulatsioon

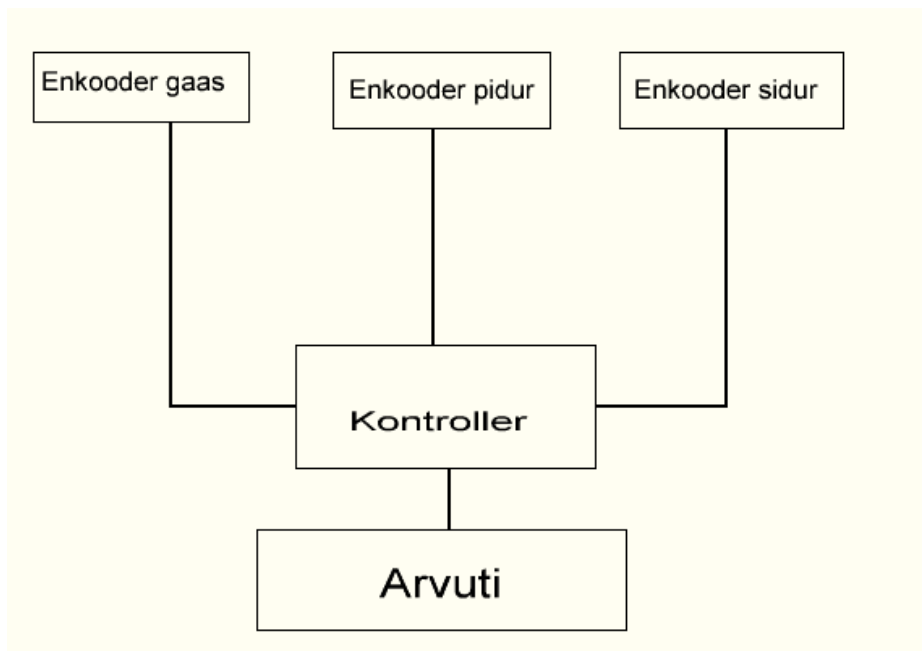


**Joonis 36.** Pedaali raami survepinges simulatsioon

Nagu näha, siis rakendatud jõud pedaalile deformatsioone ei põhjusta. Seega võib väita, et valitud materjal ning selle paksus on sobilikud antud projekti juures.

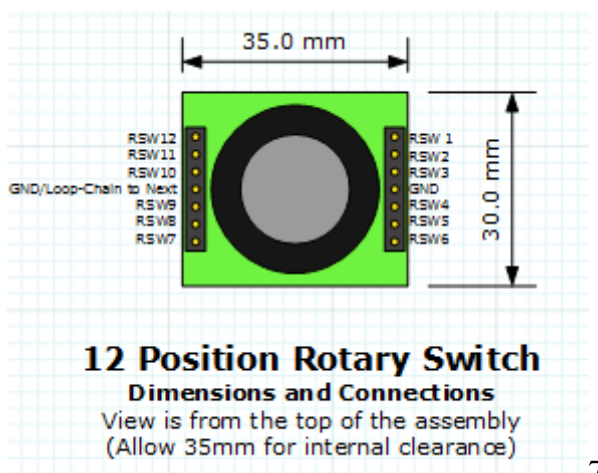
## 6. PEDAA LISÜSTEEMI JUHTIMINE

Pedaalisüsteemi toimimiseks on vaja ka elektroonikat, mis kasutaja poolt antud käsud arvutile sobilikuks konverteeriks. Selleks otsustasin igale pedaali lisada 12 positsioonilise enkoodri ning enkoodrid omakorda ühendada 12 bitilisele kontrollile. Kontroll ühendub arvutiga omakorda läbi USB pordi (joonis 37.).



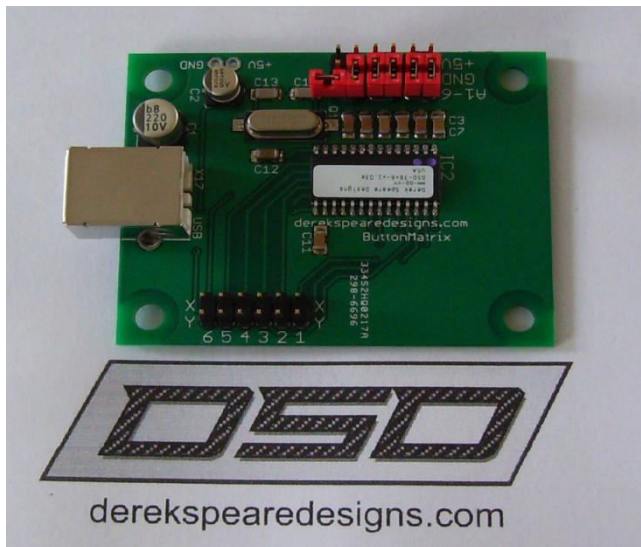
**Joonis 37.** Pedaalide elektroonika põhimõtte skeem

Joonisel 38. on näha enkoodri mõõtmeid ning ühendus klemme.



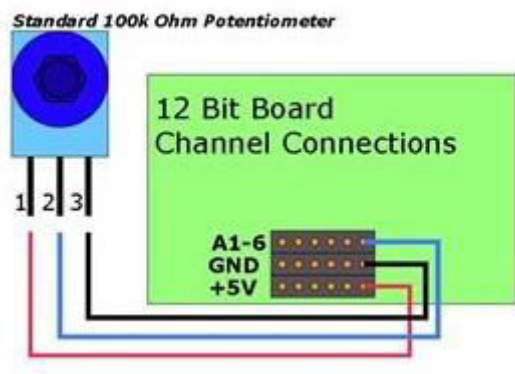
**Joonis 38.** 12 positsiooniline enkooder [19]





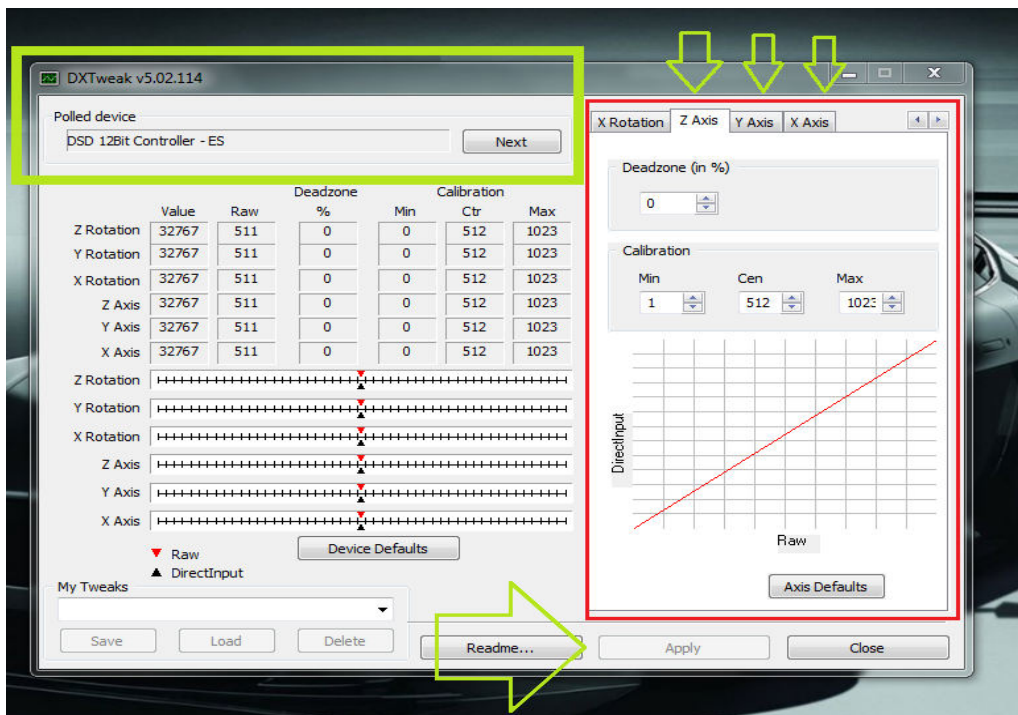
**Joonis 39.** 12 bit kontrolleri [20]

Joonisel 39. nähtav kontrolleri on 12 bitine, millel on kolmkümmend kuus nupu sisendit ning viis 12 bitist telgede sisendi. Enkoodri ning antud kontrolleri ühendus skeem on nähtav joonisel 40. [20]



**Joonis 40.** Enkoodri ning kontrolleri ühendus [21]

Pedaalide kalibreerimiseks kasutan DSD enda poolt tasuta alla laetavat tarkvara DXTweak. Antud tarkvara keskkonda on näha joonisel 41.



**Joonis 41.** DXTweak tarkvara keskkond [21]

Antud tarkvara lubab kontrollida surnud tsoone ning analoogtelgede ulatusi. Lisaks on võimalus kasutamata analoogtelgede sisendeid täielikult vaigistada, et vältida tõrkeid kalibreerimise käigus

Selliste elektroonikakomponentide valik antud projektis sai valitud seetõttu, et antud tooted projekteeritud spetsiaalselt arvu simulatsiooni pedaalidele, mistõttu ei tohiks ühendamisel tekkida tõrkeid ning lisaks on neid lihtne pedaalidega ühendada. Samuti pakub komponentide tootja omapoolsest vabavarana kalibreerimise tarkvara, mis lihtsusta oluliselt pedaali kalibreerimist,

## 7. MAKSUMUS

Antud projekti puhul oli tähtsal kohal maksumus, et hind ei kujuneks kallimaks, kui hetkel turul olevad tooted. Selleks, et arvutada projekti kogumaksumus, toon tabel 6 välja antud projekti tähtsamate komponentide hinnad:

**Tabel 6.** Komponendi hinnad

Komponent	Kogus	Hind (€)	Kokku (€)
Enkooder	3	22,30	66,90
Kontroller	1	35,6	35,6
Libisemisvastane teip	1	3,90	3,9
Survevedru gaasile	1	21	21
Survevedru pidurile	1	21	21
Survevedru sidurile	1	21	21
Survevedrud sidurile	4	16	64
Sisekeermega kuulliigend M6	2	8	16
Sisekeermega kuulliigend M5	1	8	8
			257,4

Nagu näha, siis antud pedaalide komponentide maksumus kujunes üsna suureks, seda suuresti tänu elektroonikale ning survevedrudele. Antud projekti maksusmust saaks kindlasti ka vähendada, kasutades näiteks soodsamat kontrollerit ning potentsiomeetreid. Näitek sel juhul, kui kasutada Arduino baasil kontrollerit, mis maksab Hiina interneti kaubamajast ostes 5,4 € [22] ning tavalisi analoog potentsiomeetreid, mille hind jääb paari euro kanti. Nende komponentide kasutusele võtmisega kujuneks elektroonika komponentide hinnaks ca 12 €, mis vähendaks oluliselt antud projekti maksusmust. Juurde lisandub ainult Arduino programmeerimine, mille tulemusena suudaks analoog signaali muundada digitaalseks.

Kui tulevikus hakata antud toodet tootma, tuleks kindlasti komponentide hindu kärpida, et suudaks turul olevatele toodetele konkurentsi pakkuda.

## KOKKUVÕTE

Antud lõputöö eesmärgiks oli projekteerida virtuaalse võidusõidu simulatsiooni pedaalisüsteem, mis pakuks võimalikult reaalselt pedaali tunnetust. Lisaks uuriti ka hetkel turul olevate toodete hindu, omadusi ning võrreldi neid. Lõputöös anti ülevaade ka simulatsiooni olemusest, arengust ning ajaloost. Nendest aspektidest lähtuvalt projekteeris autor enda lahenduse gaasi,-piduri,- siduripedaali.

Autori poolt projekteeritud gaasipedaali puhul kasutati reaalse tunnetuse saamiseks kindla jäikusega survevedru, mis suudaks pakkuda juhile tõetruud tagasisidet. Survevedrud valiti pedaali käigu ning rakendava jõust lähtuvalt. Pedaali käigud arvutas autor välja Pythagorase teoreemi abil. Piduripedaalile projekteeri survevedrule lisaks ka kummipuks, mis on vahetatav, mille eesmärgiks on pedaali anda jäikust, nagu ka päris võidusõiduautos, vahetatav seetõttu, et valida erineva jäikusega pedaali vahel. Siduripedaali teeb eriliseks see, et sellist lahendust ei paku hetkel mitte üksi võidusõidu simulatsiooni pedaalide tootja. Siduripedaali võllil on kera mis liigub alla plaatide vahele, kui pedaalile vajutada, plaatidel on keskel paksem koht. Kui kera sinna punkti jõuab, siis ta surub neid plaate laiali ning see hetk peaks andma juhile tagasisidet, kas sidur on lahutatud või mitte. Selline lahendus peaks pakkuma juhile reaalset tagasisidet siduri töö kohta.

Selleks kas valitud materjal ning paksus sobivad antud projekti jaoks, viis autor läbi pedaali raamile ka tõmbe,- ja survepinge arvutused Solidworks keskkonnas. Tulemustes selgus, et pedaalide rakendatav maksimaalne jõud 540 N pedaalile deformatsioone ei põhjusta ning materjal on sobilik antud projekti jaoks.

Töös püstitatud eesmärgid said autori poolt saavutatud. Ainukeseks probleemiks leidis autor, et pedaalide hind on tänu elektroonikale liiga kallis, ning seda saaks oluliselt vähendada, kui kasutada teist kontrolleri ning potentsiomeetreid

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. G920 Driving force  
<http://gaming.logitech.com/en-us/product/g920-driving-force> (21.05.2017)
2. T3PA-PRO ADD-On  
<http://www.thrustmaster.com/products/t3pa-pro-add> (21.05.2017)
3. ClubSport pedals V3  
<https://www.fanatec.com/us-en/pedals/clubsport-pedals-v3-usa.html> (21.05.2017)
4. CSL Elite Pedals LC  
<https://www.fanatec.com/eu-en/pedals/csl-elite-pedals-lc-eu.html> (21.05.2017)
5. Sim Pedals Ultimate  
<https://www.h-engineering.net/shop/sim-pedals-ultimate/> (21.05.2017)
6. Proto Simtech  
<https://protosimtech.com/en/PT-1-Sim-Racing-Pedals> (21.05.2017)
7. Simworkx Pro GT V2 Pedal Set  
<http://www.simworx.com.au/gt-pedal-set> (21.05.2017)
8. Realgear Gtpro3 Xtreme Tilton floor mount 3-pedal set  
[https://www.ricmotech.com/product\\_p/rgr-gtpp3xtf.htm](https://www.ricmotech.com/product_p/rgr-gtpp3xtf.htm) (21.05.2017)
9. SimCraft floor mounted pedals  
<http://diysim.com/products/sim-controls/sim-racing-pedals-3-pedal/> (21.05.2017)
10. What is simulation?  
<http://www.ist.ucf.edu/background.htm> (19.04.2017)
11. What is sim racing?  
[http://www.ricmotech.com/What\\_is\\_Sim\\_Racing\\_s/1553.htm](http://www.ricmotech.com/What_is_Sim_Racing_s/1553.htm) (20.04.2017)
12. **E. Blana.** (1996). A Survey of driving research simulators around the world.  
University of Leeds: ITS Working Paper. 79 lk.
13. Evolution of racing simulators  
<http://www.listal.com/list/evolution-of-racing-simulators> (20.04.2017)
14. **Tallinna Tehnikaülikool.** (2011). Uuenduslik tootmine. Tallinn: TTÜ kirjastus.  
446 lk.
15. **Steve Ruiz.** (2005). Brake Pedal and Dual Master Cylinder Installation Guide.  
*sine loco.* 7 lk

16. D-series compression spring  
<https://us.misumi-ec.com/vona2/detail/221000746866/> (04.05.2017)
17. Solidworks similtation: What is stress and strain?  
<http://blogs.solidworks.com/tech/2015/05/solidworks-simulation-stress-strain.html>  
(04.05.2017)
18. Libisemisvastane teip <http://www.motonet.ee/et/toode/600238/Libisemisvastane-teip-must-5-m> (19.05.2017)
19. DIY components for Circuit Projects  
<http://www.derekspearedesigns.com/diy-components-for-circuit-projects.html>  
(18.04.2017)
20. DSD 12 bit controllers  
<http://www.derekspearedesigns.com/12-bit-controllers.html> (18.04.2017)
21. Technical Guide for Using DSD controllers  
<http://www.derekspearedesigns.com/technical-guide.html> (18.04.2017)
22. One set UNO R3 MEGA328P ATMEGA16U2 for Ar-duino <https://goo.gl/p8cAA2>  
(24.05.2017)

## SUMMARY

The purpose of the thesis is to design a pedal system prototype for virtual racing simulators that could offer as real pedal feedback as possible. In addition, compared products what is sale at the moment, compare their prices, properties. Thesis gives also overview of simulation essence, development and history. Considering those aspects, author design own pedal solution for all three pedals.

For the realistic accelerator pedal, author use a certain stiffness compression spring, what can offer real pedal feedback to the driver. The compression springs chosen for the considering two aspects- pedal travel distance and applied force. Pedal travel distance was calculated by author using Pythagoras theorem. For the brake pedal author add rubber bushing, to add stiffness for the pedal. The rubber bushing in changeable for the choose softer or stiffer pedal. Clutch pedal is is unique in that no simulated virtual racing pedal manufacturer offers such solution what author design to that pedal. On the clutch shaft is a sphere what move down, when press the pedal, the sphere move between plates what's thickens in the middle, the plates moves to side thanks to compression spring. That give a driver feedback when clutch is separated or not. This solution would give for the driver as real clutch pedal experience as possible.

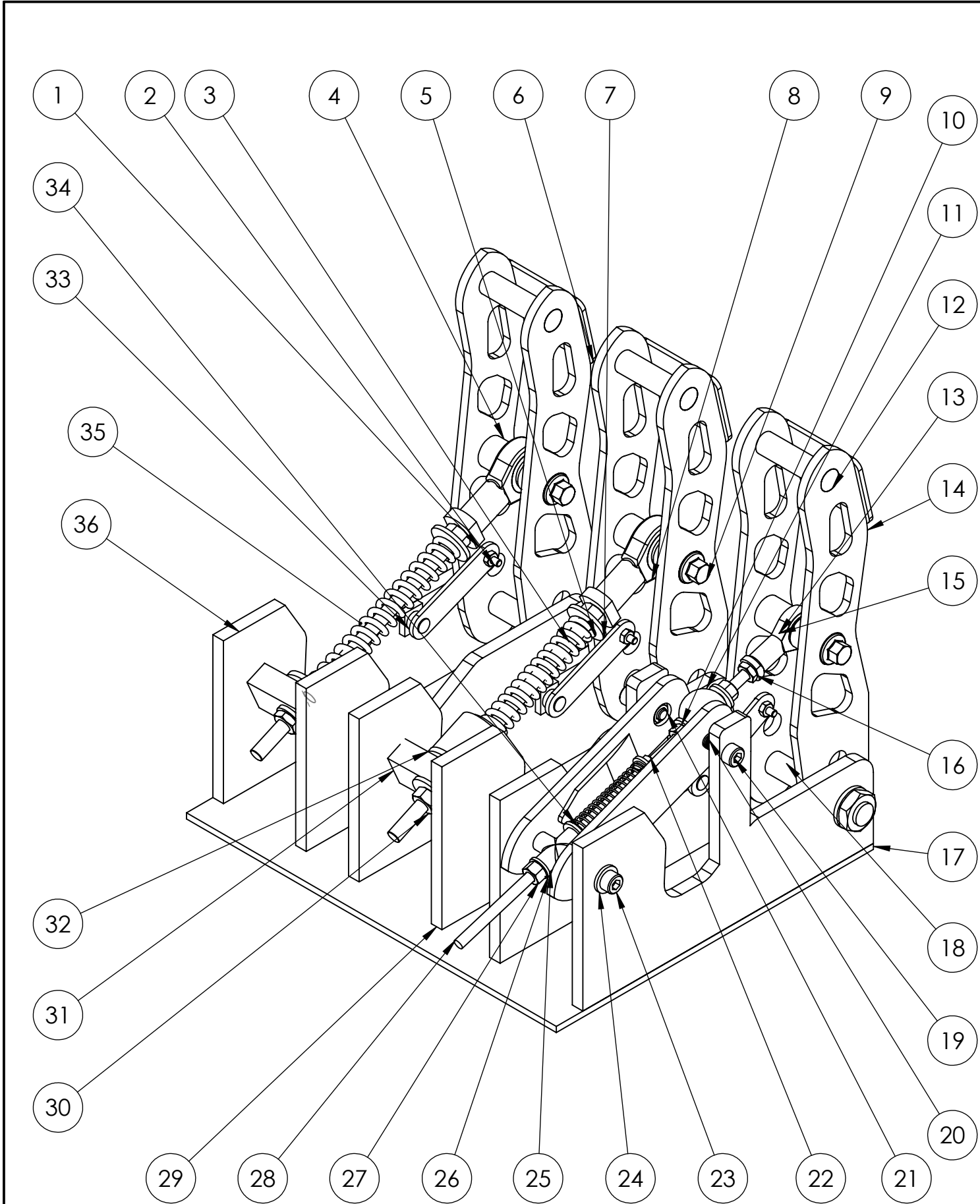
In order to find out that chosen material and its thickness is suitable for that projects, author carried out to pedal frame stress and strain simulation in Solidworks environment. The results revealed that maximum force 540N was not does not any deformations and material is suitable for this project

The purposes in thesis were achieved. The one problem what author finds was that the electronics was too expensive. Solution for that is to use cheaper controller and potentiometer.

**LISAD**

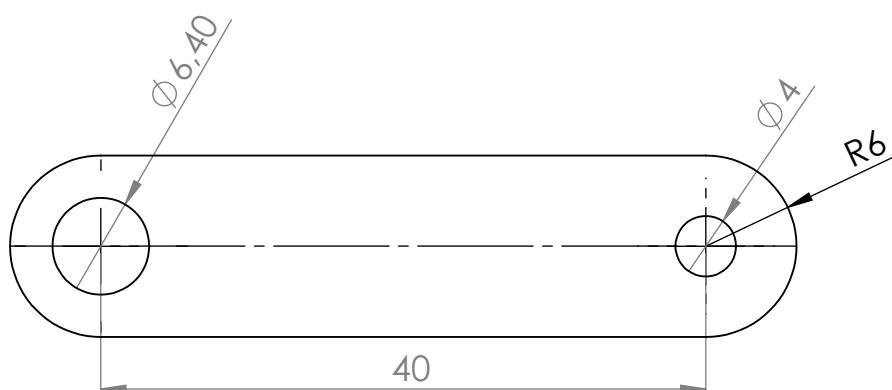
**Lisa A**





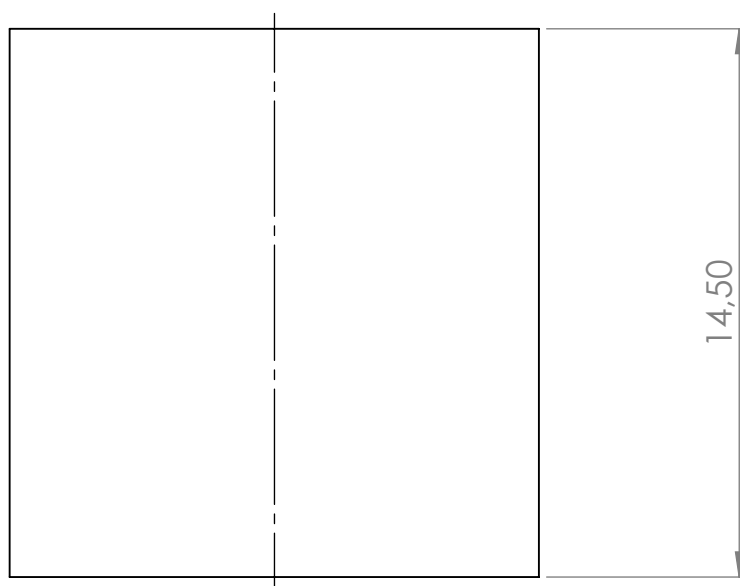
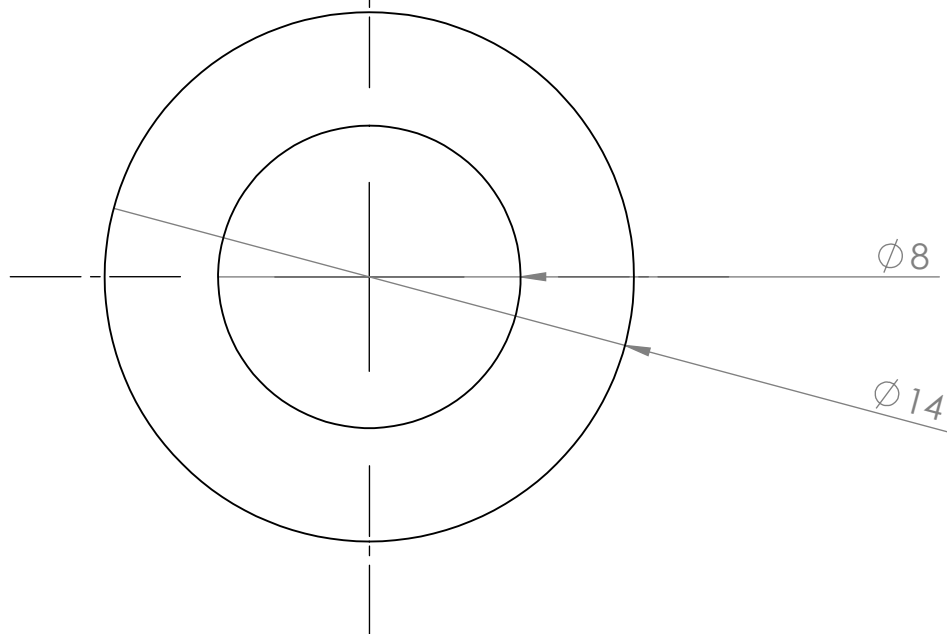


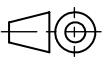

31		Keermelati toestaja	TN 17/130272 A 01 13 D	2	
30		Mutter M6x1		2	
29		Siduri küljeplaat	TN 17/130272 A 01 12 D	2	
28		Keermelatt M5		1	
27		Mutter M5		2	
26		Seib M5		3	
25		Siduri puks	TN 17/130272 A 01 11 D	1	
24		Seib M5		2	
23		Kuuskantpolt M5 x 0,8 x 25		2	
22		Mutter M5 x 0,7		2	
21		Stopper rõngas		2	
20		Siduri plaadi survevedru		4	
19		Kuuskant polt M5 x 0,8 x 16		2	
18		Kinnitus	TN 17/130272 A 01 10 D	3	
17		Alusplaat	TN 17/130272 A 01 09 D	1	
16		Mutter M5 x 0,8		1	
15		Sisekeermega kuulliigeng M5		1	
14		Pedaali külj	TN 17/130272 A 01 08 D	6	
13		Siduri puks	TN 17/130272 A 01 07 D	2	
12		Ülemine puks	TN 17/130272 A 01 06 D	3	
11		Kera	TN 17/130272 A 01 05 D	1	
10		Siduri plaat	TN 17/130272 A 01 04 D	2	
9		Polt M6x1x50		3	
8		Sisekeermega kuulliigend M6		2	
7		Seib M6		2	
6		Pedaalikate	TN 17/130272 A 01 03 D	3	
5		Piduri survevedru		1	
4		Puks 2	TN 17/130272 A 01 02 D	4	
3		Keermelatt M6		2	
2		Kuuskant polt M3x1		3	
1		Enkoodri lüli	TN 17/130272 A 01 01 D	3	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Nähtamata piirhälbed: ISO 2768	Mass:	Mõõt: 1:2
Teostas	Sten-Ingmar Jugomäe	Nimetus:			
Kontrollis	Marten Madisoo				
Kinnitas	Marten Madisoo				
		Leht: 1	Tähis: TN 17/130272 A 01 01 K		

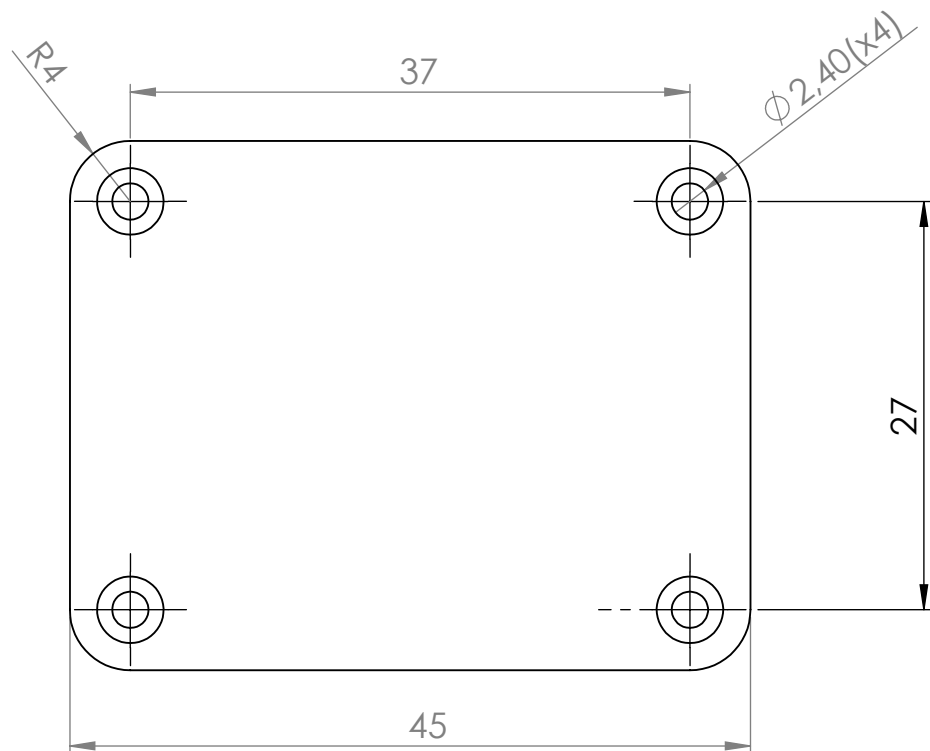
[illegible]

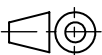



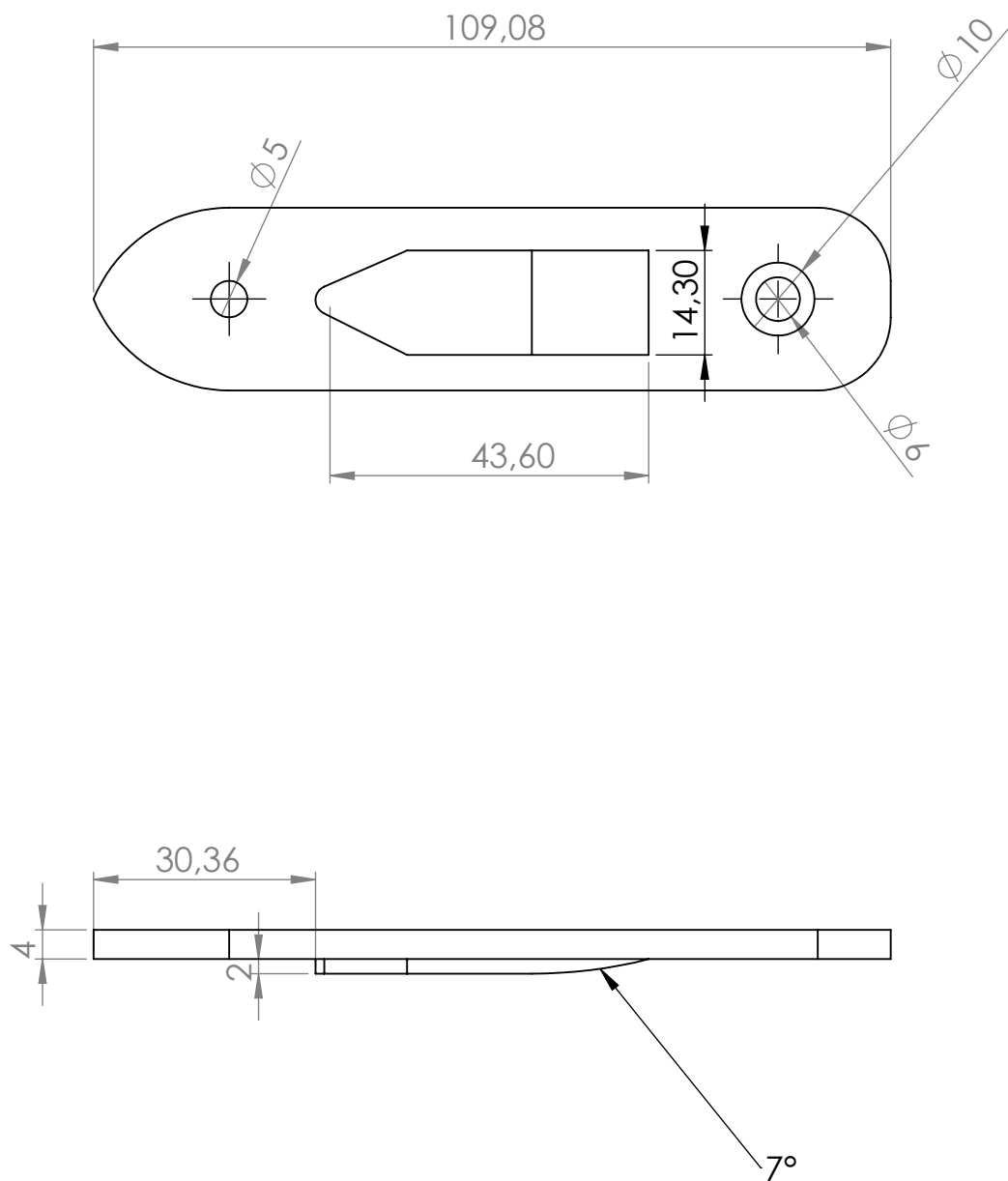
	<b>Materjal:</b> Teras S235JR	<b>Nähtamata piirhälbed:</b> ISO 2768	<b>Mass:</b> 0,8 g	<b>Mõõt:</b> 2:1
<b>Teostas</b>	Sten-Ingmar Jugomäe	<b>Nimetus:</b> Enkoodri lüli, 2mm		
<b>Kontrollis</b>	Marten Madissoo			
<b>Kinnitas</b>	Marten Madissoo			
 <b>Eesti Maaülikool</b> <small>www.emu.ee</small> Estonian University of Life Sciences		<b>Leht:</b> 1	<b>Tähis:</b> TN 17/130272 A 01 01 D	

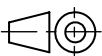



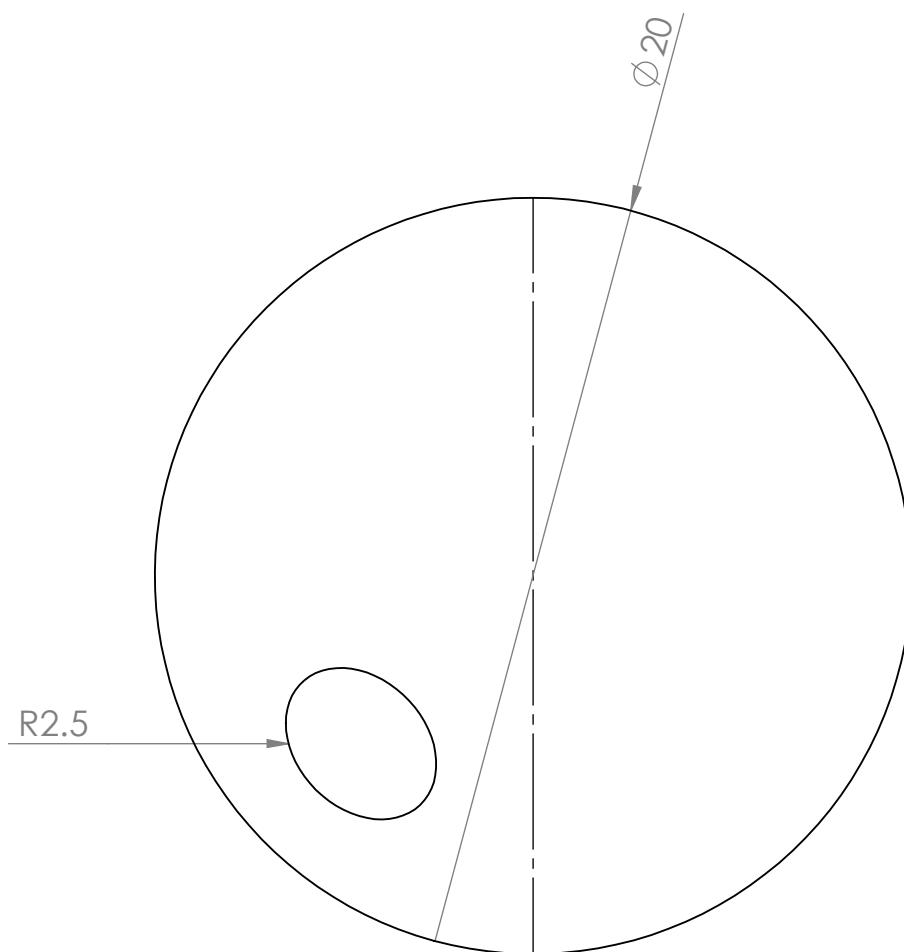
	<i>Materjal:</i> S235JR	<i>Nähtamata piirhälbed:</i> ISO 2768	<i>Mass:</i> 0,012 kg	<i>Mõõt:</i> 5:1
<i>Teostas</i>	Sten-Ingmar Jugomäe	<i>Nimetus:</i>  Puks 2		
<i>Kontrollis</i>	Marten Madissoo			
<i>Kinnitas</i>	Marten Madissoo			
		<i>Leht:</i> 1	<i>Tähis:</i> TN 17/130272 A 01 02 D	



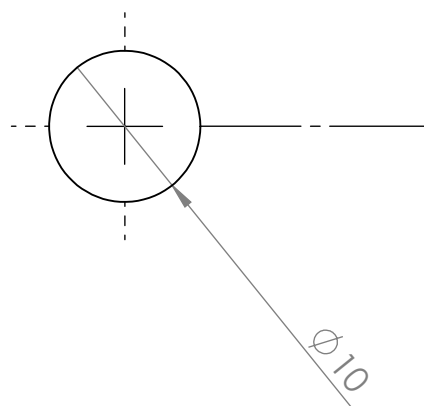
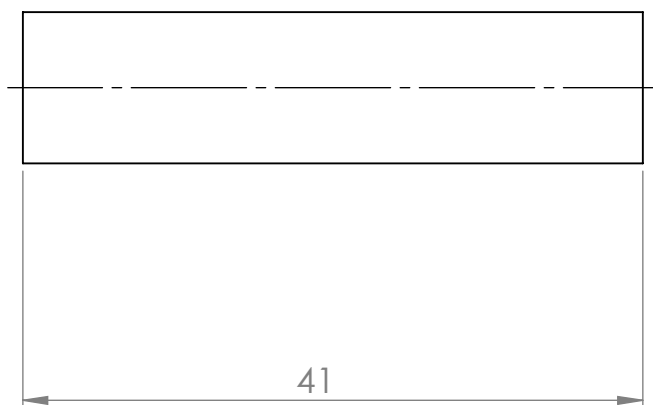
	Materjal: S235JR		Nähtamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,02 kg	Mõõt: 2:1
Teostas	Sten-Ingmar Jugomäe	Nimetus:  Pedaalicate, 2mm			
Kontrollis	Marten Madissoo				
Kinnitas	Marten Madissoo				
 <b>Eesti Maaülikool</b> <small>www.emu.ee</small> Estonian University of Life Sciences		Leht: 1	Tähis: TN 17/130272 A 01 03 D		





	Materjal: Alumiinium 1060		Nähtamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,087 kg	Mõõt: 1:1
Teostas	Sten-Ingmar Jugomäe	Nimetus:  Siduri plaat			
Kontrollis	Marten Madissoo				
Kinnitas	Marten Madissoo				
 <b>Eesti Maaülikool</b> <small>www.emu.ee</small> Estonian University of Life Sciences		Leht: 1	Tähis: TN 17/130272 A 01 04 D		

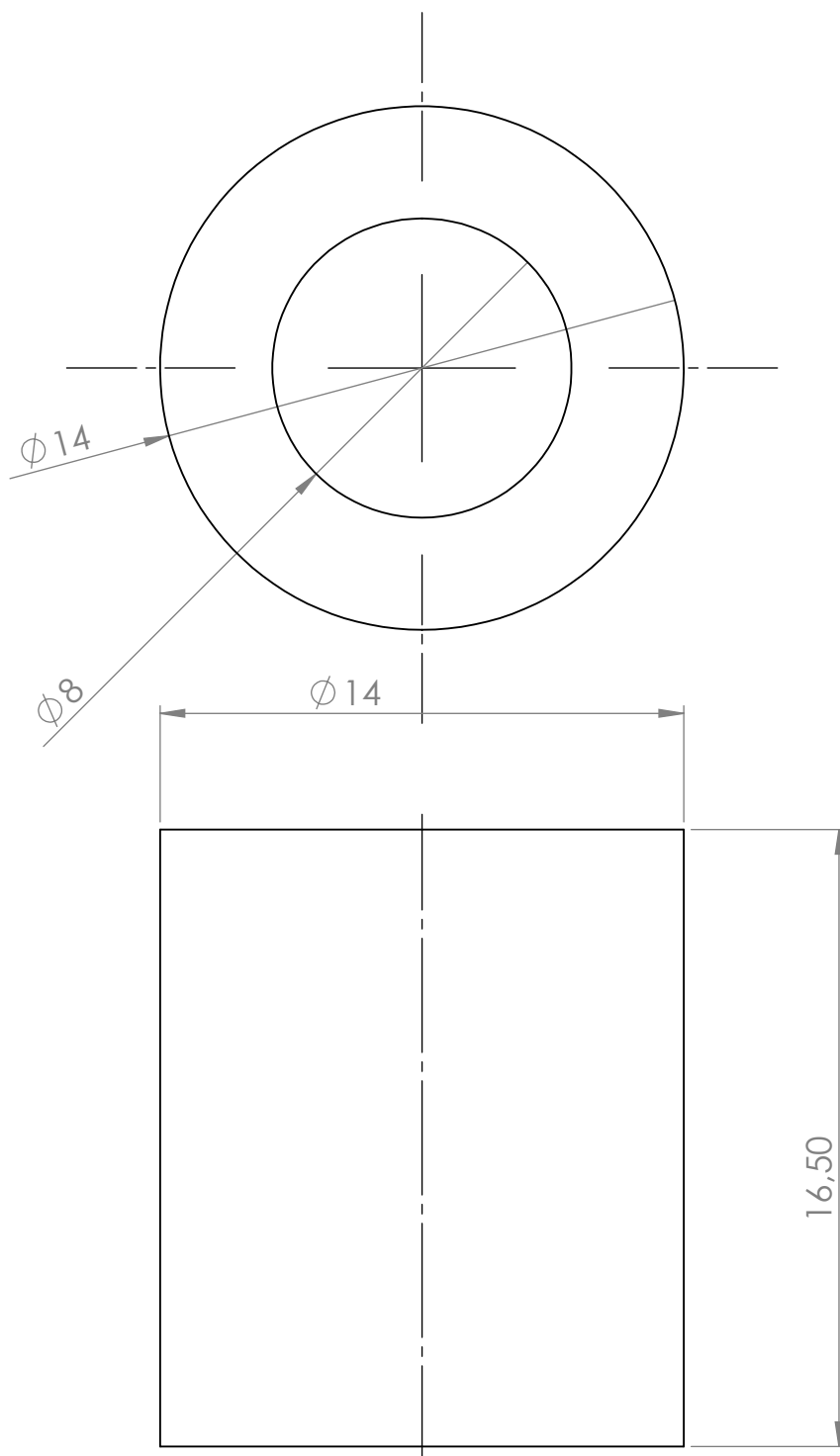


	<i>Materjal:</i> Teras S235JR	<i>Nähtamata piirhälbed:</i> ISO 2768	<i>Mass:</i> 0,031kg	<i>Mõõt:</i> 5:1
<i>Teostas</i>	Sten-Ingmar Jugomäe	<i>Nimetus:</i>  Siduri kera		
<i>Kontrollis</i>	Marten Madissoo			
<i>Kinnitas</i>	Marten Madissoo			
 <b>Eesti Maaülikool</b> <small>WWW.OTU.EE</small> Estonian University of Life Sciences		<i>Leht:</i> 1	<i>Tähis:</i> TN 17/130272 A 01 05 D	

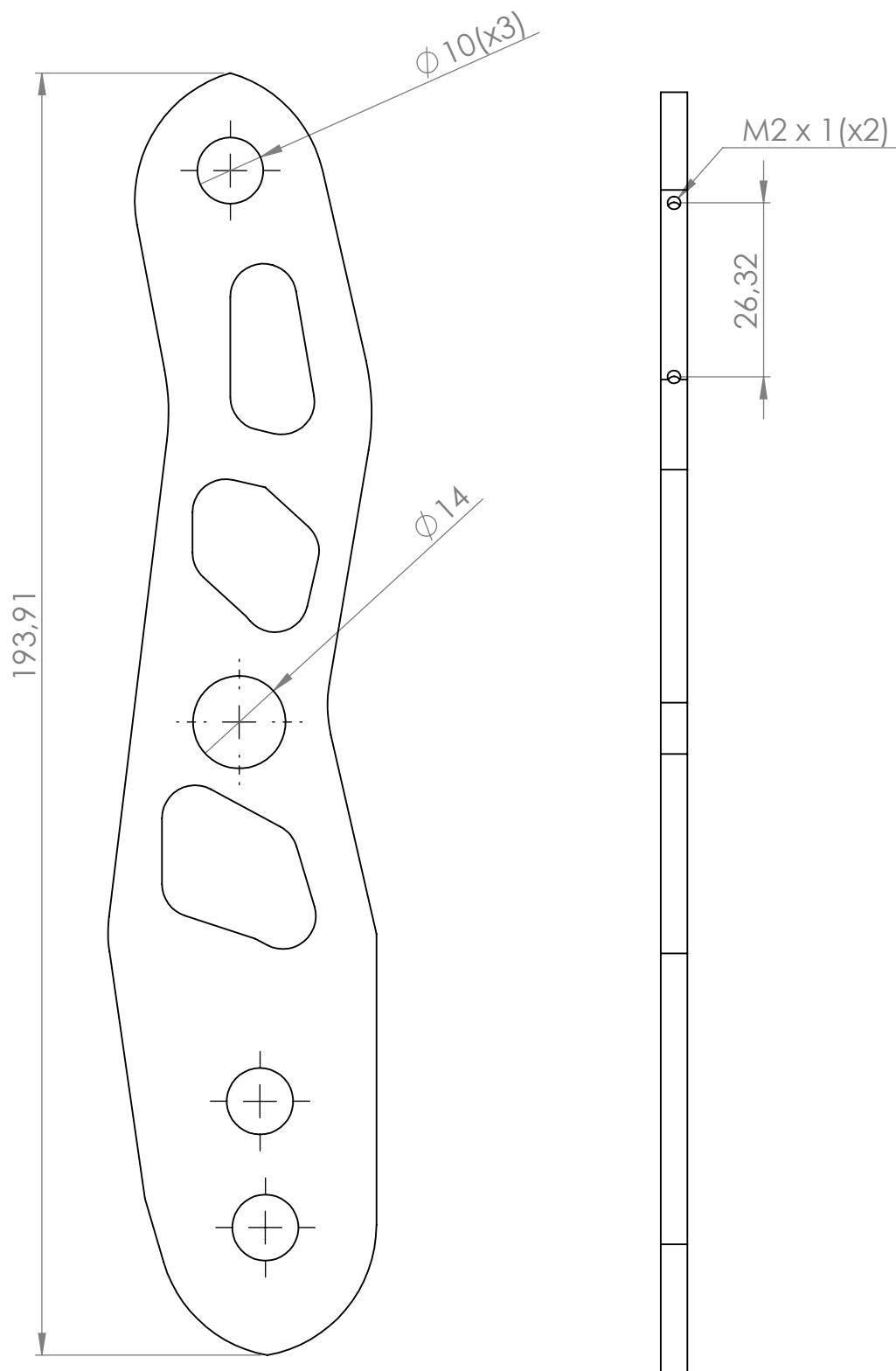


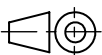

	<i>Materjal:</i> Teras S235JR		<i>Nähtamata piirhälbed:</i> ISO 2768	<i>Mass:</i> 0,02 kg	<i>Mõõt:</i> 2:1
<i>Teostas</i>	Sten-Ingmar Jugomäe	<i>Nimetus:</i>  Ülemine puks			
<i>Kontrollis</i>	Marten Madissoo				
<i>Kinnitas</i>	Marten Madissoo				
 <b>Eesti Maaülikool</b> www.emu.ee Estonian University of Life Sciences		<i>Leht:</i> 1	<i>Tähis:</i> TN 17/130272 A 01 06 D		

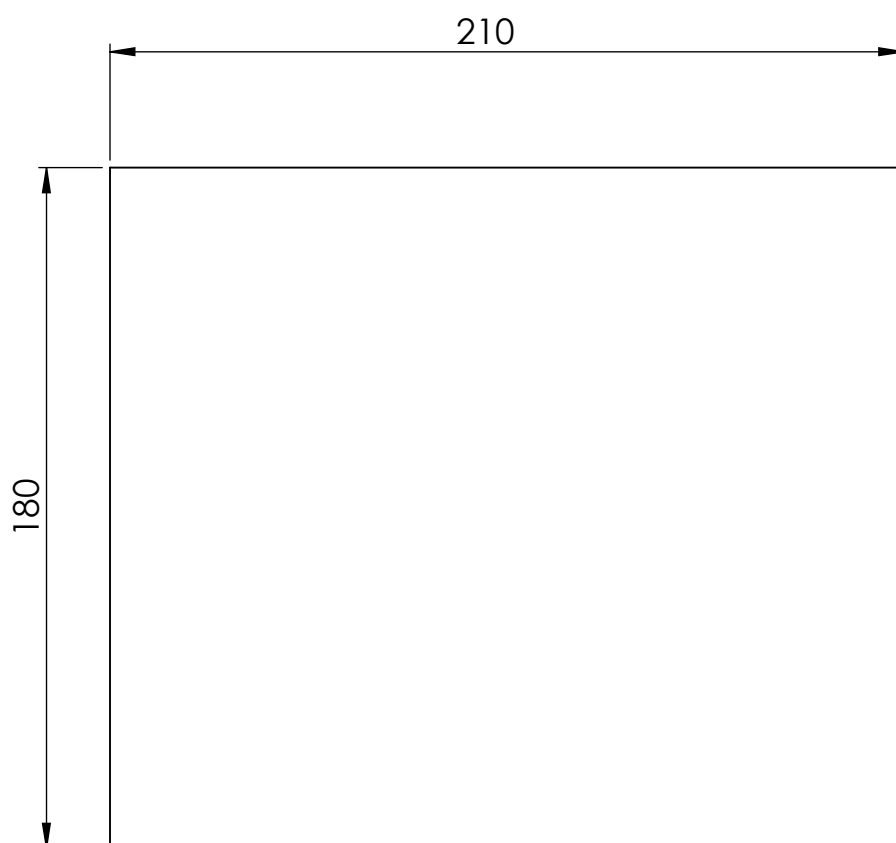




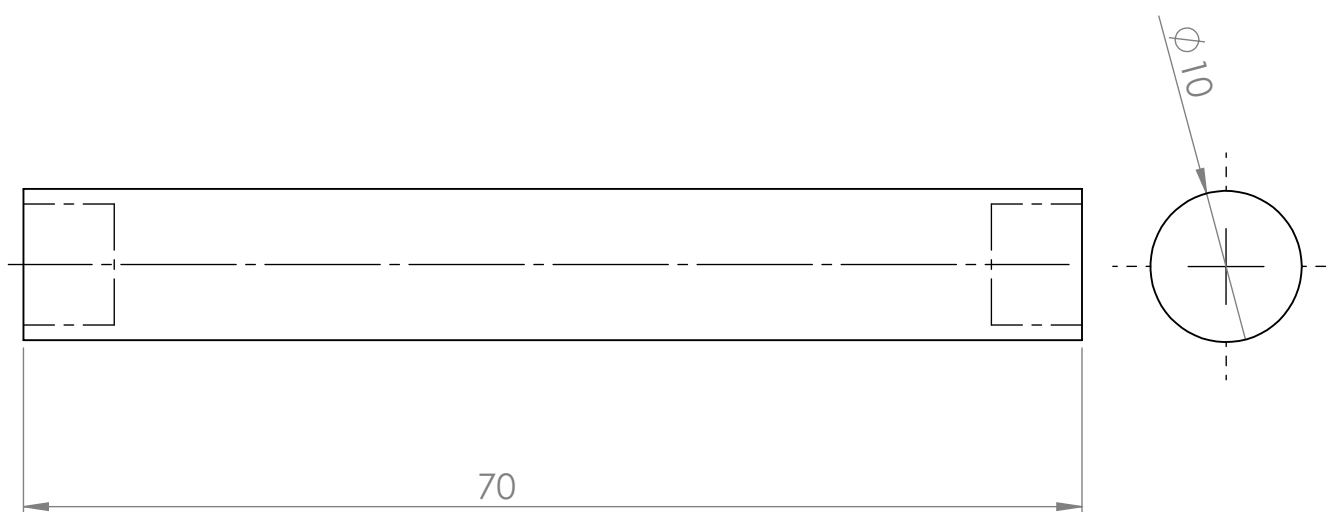
	<i>Materjal:</i> Teras S235JR	<i>Nähtamata piirhälbed:</i> ISO 2768	<i>Mass:</i> 0,013 kg	<i>Mõõt:</i> 1:5
<i>Teostas</i>	Sten-Ingmar Jugomäe	<i>Nimetus:</i>  Siduri puks		
<i>Kontrollis</i>	Marten Madissoo			
<i>Kinnitas</i>	Marten Madissoo			
		<i>Leht:</i> 1	<i>Tähis:</i> TN 17/130272 A 01 07 D	

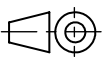



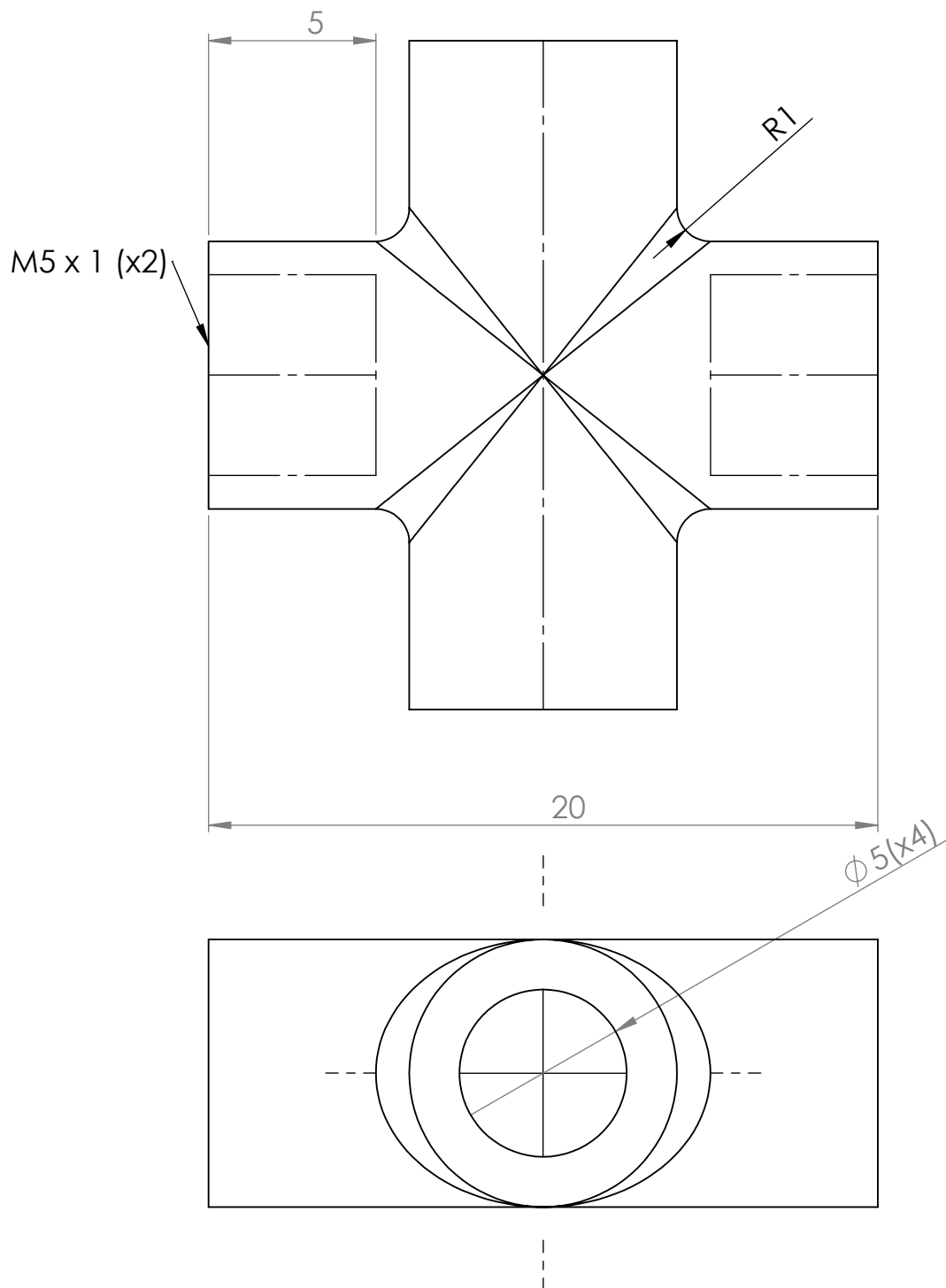
	<b>Materjal:</b> Alumiinium 1060		<b>Nähtamata piirhälbed:</b> ISO 2768	<b>Mass:</b> 0,053 kg	<b>Mõõt:</b> 1:1
<b>Teostas</b>	Sten-Ingmar Jugomäe	<b>Nimetus:</b> Pedaalikülg, 4mm			
<b>Kontrollis</b>	Marten Madissoo				
<b>Kinnitas</b>	Marten Madissoo				
 <b>Eesti Maaülikool</b> Estonian University of Life Sciences		<b>Leht:</b> 1	<b>Tähis:</b> TN 17/130272 A 01 08 D		



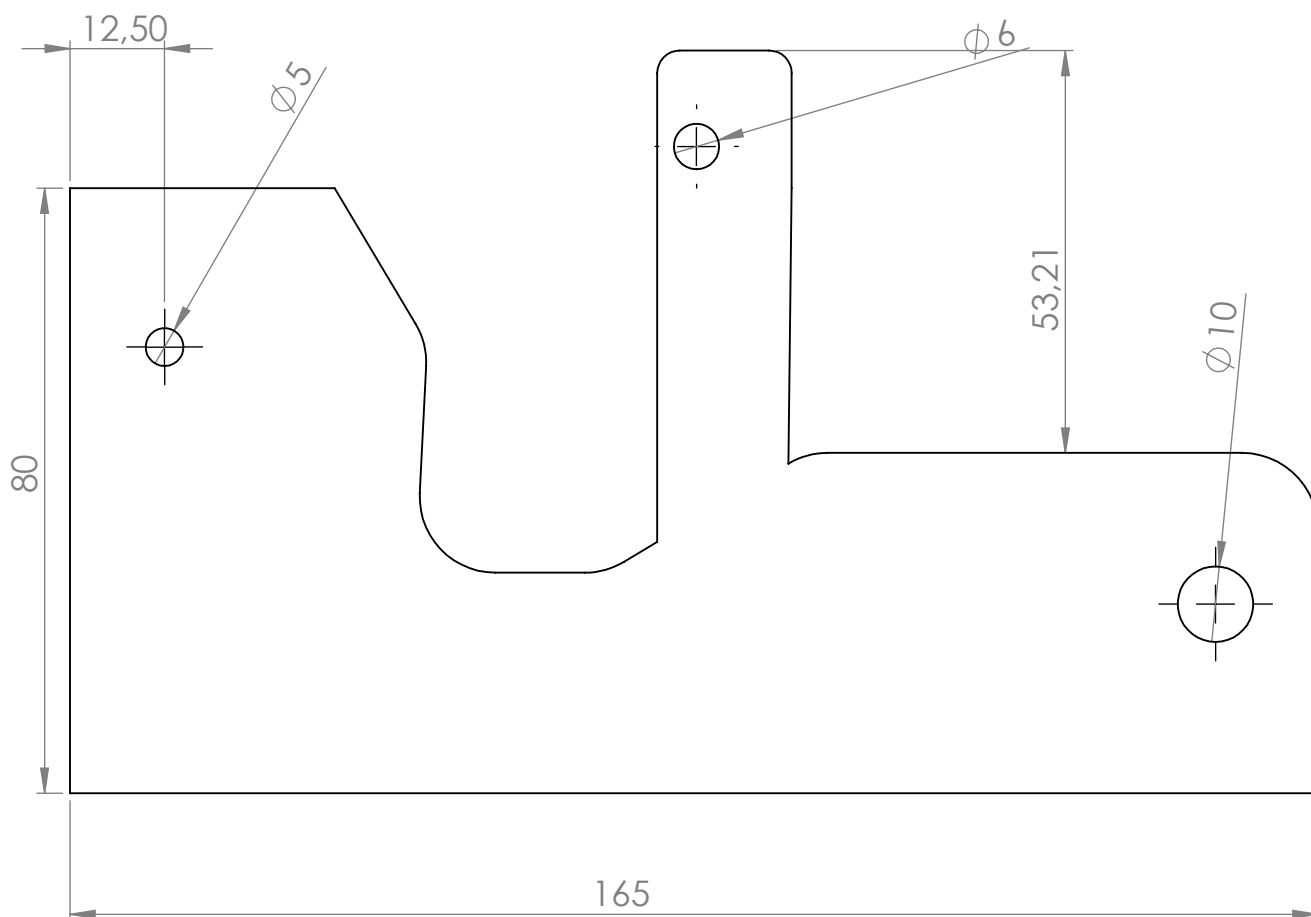
	<i>Materjal:</i> Teras S235JR	<i>Nähtamata piirhälbed:</i> ISO 2768	<i>Mass:</i> 0,9	<i>Mõõt:</i> 1:2
<i>Teostas</i>	Sten-Ingmar Jugomäe	<i>Nimetus:</i> Alusplaat, 3mm		
<i>Kontrollis</i>	Marten Madissoo			
<i>Kinnitas</i>	Marten Madissoo			
		<i>Leht:</i> 1	<i>Tähis:</i> TN 17/130272 A 01 09 D	



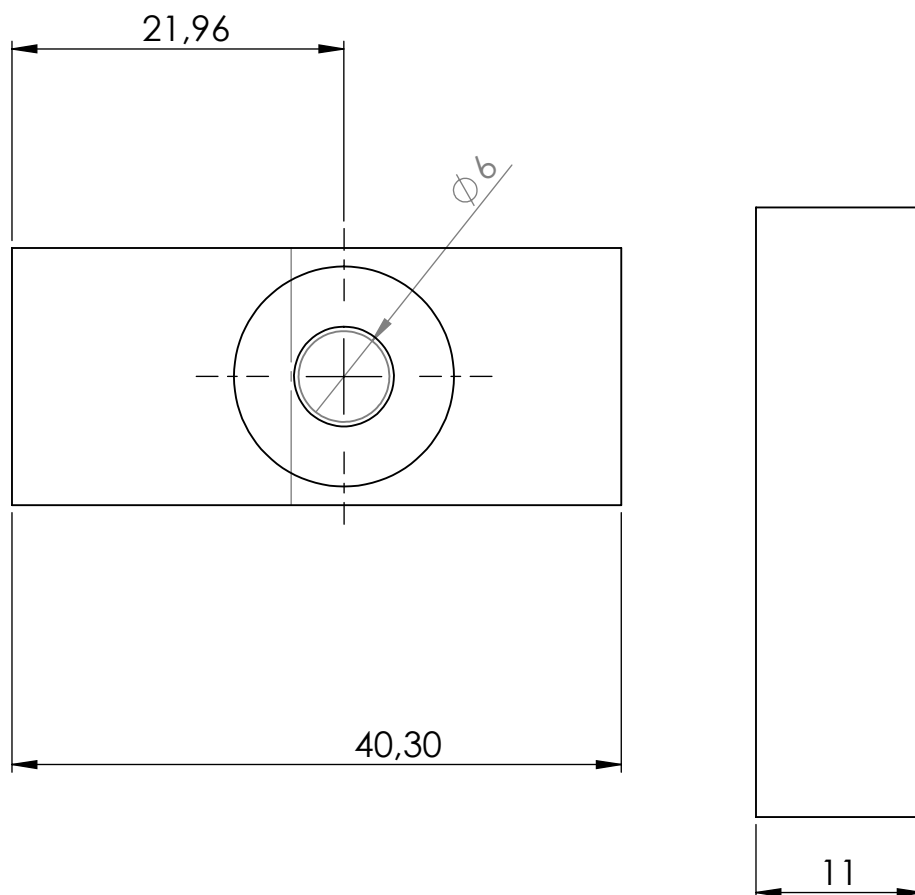
	<i>Materjal:</i> Teras S235JR		<i>Nähtamata piirhälbed:</i> ISO 2768	<i>Mass:</i> 0,03 kg	<i>Mõõt:</i> 2:1
<i>Teostas</i>	Sten-Ingmar Jugomäe	<i>Nimetus:</i>  Kinniti			
<i>Kontrollis</i>	Marten Madissoo				
<i>Kinnitas</i>	Marten Madissoo				
 <b>Eesti Maaülikool</b> <small>WWW.EMU.EE</small> Estonian University of Life Sciences		<i>Leht:</i> 1	<i>Tähis:</i> TN 17/130272 A 01 10 D		

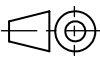



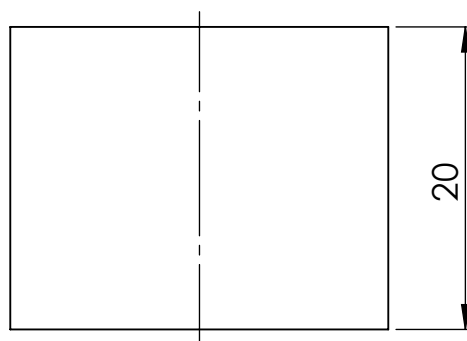
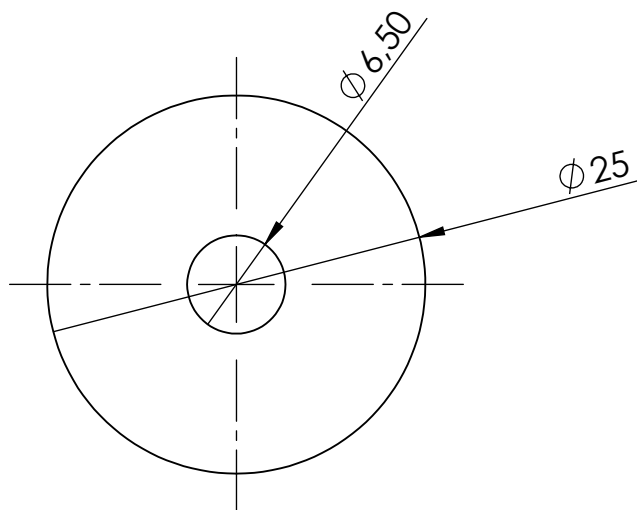
	<b>Materjal:</b> Teras S235JR	<b>Nähtamata piirhälbed:</b> ISO 2768	<b>Mass:</b> 0,08 kg	<b>Mõõt:</b> 5:1
<b>Teostas</b>	Sten-Ingmar Jugomäe	<b>Nimetus:</b>  Siduri puks		
<b>Kontrollis</b>	Marten Madissoo			
<b>Kinnitas</b>	Marten Madissoo			
<b>Eesti Maaülikool</b> <small>www.emu.ee</small> Estonian University of Life Sciences		<b>Leht:</b> 1	<b>Tähis:</b> TN 17/130272 A 01 11 D	



	Materjal: Teras S235JR		Nähtamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,4 kg	Mõõt: 1:1
Teostas	Sten-Ingmar Jugomäe	Nimetus: Siduri küljeplaat			
Kontrollis	Marten Madissoo				
Kinnitas	Marten Madissoo				
 <b>Eesti Maaülikool</b> <small>www.emu.ee</small> Estonian University of Life Sciences		Leht: 1	Tähis: TN 17/130272 A 01 12 D		

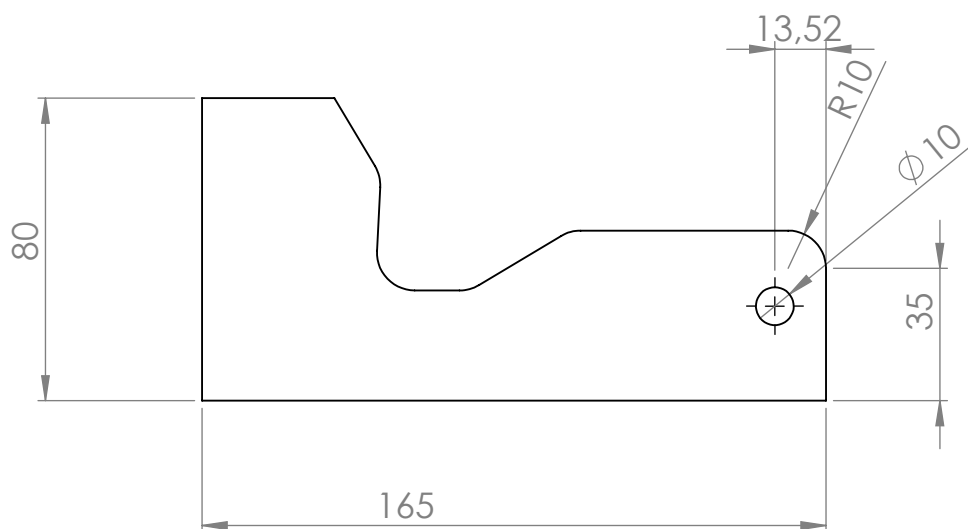


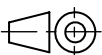

	<b>Materjal:</b> Teras S235JR	<b>Nähtamata piirhälbed:</b> ISO 2768	<b>Mass:</b> 0,053 kg	<b>Mõõt:</b> 2:1
Teostas	Sten-Ingmar Jugomäe	<b>Nimetus:</b> Keermelati toestaja		
Kontrollis	Marten Madissoo			
Kinnitas	Marten Madissoo			
 <b>Eesti Maaülikool</b> <small>WWW.OTLU.EE</small> Estonian University of Life Sciences	<b>Leht:</b> 1	<b>Tähis:</b> TN 17/130272 A 01 13 D		



	<i>Materjal:</i> Polüuretaan	<i>Nähtamata piirhälbed:</i> ISO 2768	<i>Mass:</i>	<i>Mõõt:</i> 2:1
<i>Teostas</i>	Sten-Ingmar Jugomäe	<i>Nimetus:</i>  Kummipuks		
<i>Kontrollis</i>	Marten Madissoo			
<i>Kinnitas</i>	Marten Madissoo			
	<i>Leht:</i> 1	<i>Tähis:</i> TN 17/130272 A 01 14 D		





	<i>Materjal:</i> Alumiinium 1060		<i>Nähtamata piirhälbed:</i> ISO 2768	<i>Mass:</i> 0,3 kg	<i>Mõõt:</i> 1:2
<i>Teostas</i>	Sten-Ingmar Jugomäe	<i>Nimetus:</i> Gaasi,-piduripedaali küljeplaat, 6mm			
<i>Kontrollis</i>	Marten Madissoo				
<i>Kinnitas</i>	Marten Madissoo				
		<i>Leht:</i> 1	<i>Tähis:</i> TN 17/130272 A 01 15 D		

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks  
(avaldamise tähtajaline piirang) ning juhendaja(te) kinnitus töö kaitsmisele  
lubamise kohta**

Mina, \_\_\_\_\_,  
(*autori nimi*)

sünniaeg \_\_\_\_\_,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_,  
*lõputöö pealkiri*

mille juhendaja(d) on \_\_\_\_\_,  
*juhendaja(te) nimi*

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks pärast tähtajalise piirangu  
lõppemist

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega  
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
(*allkiri*)

Tartu, \_\_\_\_\_  
(*kuupäev*)

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(*juhendaja nimi ja allkiri*)

\_\_\_\_\_  
(*kuupäev*)

\_\_\_\_\_  
(*juhendaja nimi ja allkiri*) (*kuupäev*)

\_\_\_\_\_